

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
DOUTORADO EM GEOGRAFIA

ANDREZA ROCHA DE FREITAS

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIALIZADORAS DE INUNDAÇÕES E
ENXURRADAS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA APLICADA NA BACIA
ARROIO DOS PEREIRAS, IRATI-PR**

PONTA GROSSA
2018

ANDREZA ROCHA DE FREITAS

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIALIZADORAS DE INUNDAÇÕES E
ENXURRADAS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA APLICADA NA BACIA
ARROIO DOS PEREIRAS, IRATI-PR**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Geografia no Programa de Pós-
Graduação em Geografia, da Universidade
Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Méri Carvalho

PONTA GROSSA
2018

F866

Freitas, Andreza Rocha de

Identificação de áreas potencializadoras de inundações e enxurradas: uma proposta metodológica aplicada na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati PR/ Andreza Rocha de Freitas. Ponta Grossa, 2018.

150 f.; il.

Tese (Doutorado em Geografia – Área de Concentração – Gestão do Território), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Silvia Méri Carvalho

1. Bacia hidrográfica. 2. Impermeabilização do solo. 3. IAPIE. 4. Escoamento superficial. I. Carvalho, Silvia Méri. II. . Universidade Estadual de Ponta Grossa- Doutorado em Geografia. III. T.

CDD : 551.48

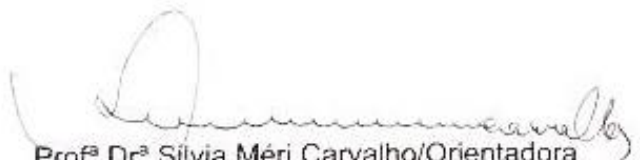
Ficha catalográfica elaborada por Maria Luzia F. Bertholino dos Santos– CRB9/986

TERMO DE APROVAÇÃO

ANDREZA ROCHA DE FREITAS

**"IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS POTENCIALIZADORAS DE INUNDAÇÕES E
ENXURRADAS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA APLICADA NA BACIA
ARROIO DOS PEREIRAS, IRATI – PR"**

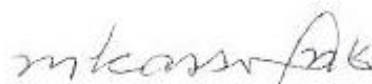
Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no
Curso de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências Exatas e Naturais
da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:



Profª Drª Silvia Méri Carvalho/Orientadora
UEPG



Profº Drº Paulo Costa de Oliveira Filho
UNICENTRO



Profª Drª Maria Ligia Cassol Pinto
UEPG



Profº Drº Valdemir Antoneli
UNICENTRO



Profº Drº Gilson Campos Ferreira da Cruz
UEPG

Ponta Grossa, 30 de Agosto de 2018

*Aos meus pais, Antonio e Adenilde
Ao meu esposo, Maycon
Ao Miguel, meu filho, que já faz parte de mim e logo estará em meus braços
À Nonna Ada (In Memoriam), que um dia, me contou da sua paixão pela Geografia*

AGRADECIMENTOS

Gratidão à Universidade Estadual de Ponta Grossa e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pela oportunidade de cursar uma Pós-Graduação.

Gratidão à Professora Dra. Silvia Méri Carvalho, pela orientação e amizade dispensadas. Imensa gratidão pela compreensão e paciência nos momentos difíceis. Obrigada por não ter desistido e sempre acreditar no desenvolvimento deste trabalho. Isto será levado para a vida toda!

Gratidão aos Professores Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho, Dra. Maria Ligia Cassol Pinto, Dr. Valdemir Antoneli e Dr. Gilson Campos Ferreira da Cruz por dedicaram tempo avaliando esta tese.

Gratidão aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UEPG por sempre estarem dispostos a discutir as ideias desta tese.

Gratidão à Prefeitura Municipal de Irati e ao Instituto Nacional de Meteorologia por terem fornecido os dados fundamentais ao desenvolvimento desta pesquisa.

Gratidão à Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), por incentivar seus docentes a buscar qualificação. Obrigada pelo ano de afastamento das atividades laborais para dedicação ao doutoramento.

Gratidão aos Professores do Departamento de Geografia da Unicentro, *Campus* de Irati, Alides Baptista Chimin Júnior, Daniel Luiz Stefenon, Fernanda Keiko Ikuta, João Anésio Bednarz, Julio Manoel França da Silva, Karla Rosário Brumes, Luiz Carlos Basso, Marcelo Barreto, Valdemir Antoneli, Wanda Terezinha Pacheco dos Santos e Zaqueu Luiz Bobato, por terem compreendido os momentos de ausência.

Gratidão especial aos amigos Valdemir e João Anésio pelo auxílio na coleta dos dados. Muitas vezes ideias foram discutidas e as angústias compartilhadas nesta etapa importante na profissão de professor.

Gratidão aos alunos de Iniciação Científica que tiveram uma relação direta com esta tese através da coleta de dados. Obrigada, Joslaine Minosso, Damiane Ferreira,

Taís de Oliveira, Juliana Martins, Edelman Rombleski Carneiro, Francieli Kruk, Bruna Sobutka, Saulo Voiski, Jefferson Eslei Mazur, Joel Ezequias de Alvarenga, Cristhian Gabriel dos Santos, Rafael Serpe, Daniel Chichi Specht e Élio Jônatas de Siqueira.

Gratidão a Marilaine Alves dos Santos, Fernando Fernandes, João Anésio Bednarz e Luiz Carlos Basso, pelo compartilhamento de ideias e dúvidas nas idas e vindas às aulas da Pós-Graduação.

Gratidão à grande amiga Karla Rosário Brumes que sempre esteve disponível a ouvir as angústias e dúvidas, tanto as do doutorado como as da vida. Obrigada pela amizade e companheirismo.

Gratidão ao amigo Alides pela presença constante no doutorado. Obrigada pelo compartilhamento de ideias e por estar presente no DEGEO em momentos de ausência, seja nas atividades administrativas quanto em sala de aula. Obrigada, principalmente, por compreender e estar sempre disposto a ajudar.

Gratidão a todos os alunos que cursaram Geografia na Unicentro, *Campus* de Irati, no período deste doutoramento, por compreenderem a ausência quando não pode ser evitada e pelas palavras de apoio e carinho.

AGRADECIMENTOS PESSOAIS

Gratidão a Deus pelo dom da vida e do aprendizado. Obrigada, Senhor, por não ter me deixado desistir quando as coisas pareciam não ter solução.

Gratidão ao meu esposo, Maycon! Gratidão por tudo! Você esteve presente todos os dias, desde a aprovação na seleção do doutorado até a defesa. Neste meio tempo dividi com você meus sonhos, ideias, angústias, alegrias, enfim, um misto de sentimentos nesta etapa da minha vida, que se tornou etapa da sua também. Obrigada por ser meu companheiro, juntamente com a Selenia e a Kira, nas noites em que eu ficava estudando e por sentir muito orgulho de mim. Amo você, "Vido"!

Gratidão aos meus pais Antonio e Adenilde por eu ter me tornado a pessoa que sou. Sou reflexo de vocês dois e isto me orgulha muito. Vocês me deram todas as oportunidades possíveis e este trabalho é um dos resultados da dedicação de vocês. Este título pertence a vocês também!

Gratidão à minha irmã Angelica por todo o incentivo que me deu e por compartilhar as angústias e alegrias da Pós-Graduação. Você sempre esteve disposta a me ouvir e a me aconselhar quando eu precisava. Obrigada pelo amor e carinho que você sempre dedica a mim e a tudo o que me interessa. Sou grata a você, principalmente, pela Sofia e pela Elisa, princesas de nossas vidas.

Gratidão ao meu irmão Antonio Guilherme, principalmente, pela alegria com que vive a vida. Obrigada por ser companheiro, sempre estar disposto a me ouvir e a compreender a minha ausência em momentos que foram importantes para você.

Gratidão à minha sogra Dona Inês que sempre esteve interessada em saber como estava indo meu curso de Pós-Graduação. Peço desculpas, pelas vezes em que o Maycon e eu estivemos ausentes devido aos nossos afazeres.

Gratidão ao meu sogro Seu Dalmo, por incentivar a todos a estudar e sentir orgulho das coisas que fazemos. Obrigada pelo carinho e respeito com o quais o senhor me trata.

Gratidão às minhas primas-irmãs Camila e Fernanda que logo serão doutoras. Obrigada pelas conversas sobre as nossas teses e por compreender quando me

isolei de todos para que eu pudesse desenvolver este trabalho, sei que vocês também passam por isso.

Gratidão aos meus padrinhos Dirceu e Lúcia e ao meu primo Daniel que sempre me tratam com carinho e me proporcionam momentos de alegria. É uma honra estar ao lado de vocês em todas as horas. Obrigada por compreender a minha ausência devido à correria da vida.

Gratidão à Rosa, minha querida amiga. Obrigada por cuidar das coisas nos momentos em que estive ausente. Você é muito importante para nós, pois faz parte da nossa família.

Gratidão à Família Comar pelo carinho que nos tratam. Agradeço, especialmente, à Dona Lenita que sempre demonstrou interesse pelos meus estudos, assim como fazia com seus filhos. Nunca esquecerei que, em uma das visitas que lhe fizemos, eu estava finalizando o projeto desta pesquisa, e a senhora foi até o quarto onde eu estava e me levou um “lanchinho”. Obrigada, muito obrigada!

Gratidão ao Marcio Comar e a Jaqueline Nunes, nossos irmãos de coração! Obrigada pelos momentos de alegria que vocês possibilitaram, através da Beatriz e da Vitória. Saibam que depois de todas as vezes que estive com elas a leveza voltou à minha alma, fazendo com que eu encontrasse inspiração para tudo.

Gratidão aos nossos queridos amigos Nica e Toni Hübler. Obrigada por sempre buscarem a nos incluir em suas vidas e nas do Gustavo e do Mateus. Obrigada, Nica, pelas palavras, conselhos e por perceber e estar presente nos momentos em que eu mais precisei. Sua alegria e disposição me inspiram.

Gratidão aos nossos amigos Fernanda e Rubens Cruz. Obrigada por todo o carinho com que vocês, o Lucas e a Carol nos recebem e por sempre estarem interessados em meu doutorado. Rubens, agora posso lhe afirmar, com toda a certeza, que estou terminando o doutorado!

Gratidão a todos que acreditaram em meu potencial!

Gratidão a tudo que conspirou para que este trabalho se concretizasse!

“É estranho como a felicidade é desdita, momentos preciosos e penosos, alegria e dor se confundem quando aprecio tudo à distância. Nas recordações todos os acontecimentos miraculosamente se banham num cálido raio luminoso, sendo ofuscados mesmos os dias da miséria com a luz do sol. Embora não tenha encontrado o encantado ‘País da Felicidade’ em minha peregrinação terrena, predominou a abundância do belo que o bondoso destino me ofertou. ”

Reinhard Maack

RESUMO

Os fenômenos de inundações e enxurradas têm se tornado cada vez mais preocupantes quando se trata de medidas a serem tomadas no planejamento urbano. Neste sentido, o objetivo da presente tese é entender as inundações e enxurradas ao identificar áreas potencializadoras desses processos na Bacia Arroio dos Pereiras no Município de Irati-Pr. Foi proposta a metodologia do Índice de Áreas Potencializadoras de Inundações e Enxurradas (IAPIE), por meio do qual é possível identificar quais as áreas, de uma bacia hidrográfica urbana, apresentam maior potencial para desencadear inundações e enxurradas em áreas a jusante. Além disso, a metodologia pode ser empregada na elaboração de cenários futuros de uso e ocupação da bacia em análise, por meio dos parâmetros: Precipitação, Infiltração da água no solo, Declividade, Balanço Hídrico, Morfometria e Tipos de solos. Inicialmente deve-se realizar a setorização da bacia estudada e cada parâmetro será analisado, por setor, através de classificações quantitativas e qualitativas dos mesmos. O parâmetro Precipitação considera valores de precipitação por meio de pluviogramas que utilizam totais mensais de chuvas em um dado lugar e no período escolhido; a Capacidade de Infiltração da água em diferentes usos é identificada por meio de mapas detalhados de uso do solo; o parâmetro Declividade identifica as áreas com potencial maior ou menor de escoamento da água; o Balanço Hídrico contabiliza a disponibilidade hídrica de uma região em bases climatológicas e comparativas; a Suscetibilidade Morfométrica a inundações e enxurradas, avalia morfometricamente as bacias que apresentam maiores condições no desenvolvimento de inundações e enxurradas, através de parâmetros que têm ligação direta com a ocorrência destes fenômenos e Tipos de Solos, avalia a capacidade de permeabilidade dos Solos. Por meio da aplicação do IAPIE foi possível identificar que o setor 2, correspondente ao Centro da cidade de Irati, potencializa em 57,11% a ocorrência de inundações e enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras. Isto ocorre devido a alta taxa de impermeabilização do solo, pois neste setor estão concentradas atividades comerciais e de prestação de serviços, além de residências. O Setor que menos influencia na ocorrência de inundações e enxurradas é o 6, localizado no alto curso da bacia (Área Rural), contribuindo com 33,31%. Para este setor devem ser pensadas políticas que incentivem a permeabilização do solo, pois trata-se de uma área onde são encontrados os solos mais profundos, que propiciam a infiltração da água. Devido à condição atual determinada pelo IAPIE, o setor 6 apresenta potencial baixo na influência de inundações e enxurradas, no entanto, se a impermeabilização da área for ampliada, este setor poderá ser caracterizado com potencial médio na ocorrência de inundações e enxurradas. Nesta perspectiva, caso aconteçam mudanças no uso do solo na Bacia Arroio dos Pereiras, que impermeabilizem o solo, a ocorrência de inundações e enxurradas pode ser potencializada em áreas onde já ocorrem e podem acontecer em áreas que ainda não foram acometidas por estes fenômenos.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica, Impermeabilização do Solo, IAPIE, Escoamento Superficial

ABSTRACT

Flood processes have become increasingly worrying when it comes to measures to be taken in urban planning. In this sense, the objective of this thesis is to understand the floods and floods when identifying potential areas of these processes in the Arroio dos Pereiras Basin in the Municipality of Irati-PR. The methodology of the Index of Potentializing Areas of Flood and Enxurradas (IAPIE) was proposed, through which it is possible to identify which areas of an urban river basin present greater potential to trigger floods in downstream areas. In addition, the methodology can be used in the elaboration of future scenarios of use and occupation of the basin under analysis, through the parameters: Precipitation, Infiltration of water in the soil, Declivity, Water Balance, Morphometry and Soil Types. Initially the sectorization of the studied basin should be carried out and each parameter will be analyzed, by sector, through quantitative and qualitative classifications of the same. The Precipitation parameter considers precipitation values by means of pluviograms that use monthly rainfall totals in a given place and in the chosen period; the Infiltration Capacity of water in different uses is identified through detailed maps of land use; the parameter Declivity identifies the areas with greater or lesser potential of water flow; the Water Balance accounts for the water availability of a region on a climatological and comparative basis; the Morphometric Susceptibility, evaluates morphometrically the basins that present greater conditions in the development of floods and floods, through parameters that have direct connection with the occurrence of these phenomena and the last parameter Types of Soils, evaluates the permeability capacity of Soils. Through the application of the IAPIE, it was possible to identify that sector 2, corresponding to the Center of the city of Irati, increases the occurrence of floods and floods in the Arroio dos Pereiras Basin by 57.11%. This is due to the high rate of waterproofing of the soil, since in this sector are concentrated commercial and service activities, as well as residences. The sector that has the least influence on the occurrence of floods and floods is the 6, located in the high course of the basin (Rural Area), contributing with 33.31%. For this sector, policies that encourage the permeabilization of the soil must be considered, since it is an area where the deepest soils are found, which provides water infiltration. Due to the current condition determined by IAPIE, sector 6 has low potential in the influence of floods and floods, however, if the waterproofing of the area is increased, this sector can be characterized with average potential in the occurrence of floods and floods. In this perspective, if there are changes in land use and occupation in the Arroio dos Pereiras Basin, which waterproof the soil, the occurrence of floods and floods can be potentiated in areas where they already occur and may occur in areas that have not yet been affected by these phenomena.

Keywords: Hydrographic Basin, Soil Waterproofing, IAPIE, Surface Drainage

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo de classes e subclasses de riscos ambientais	25
Figura 2 – Fluxo de fenômenos naturais e desastre ambiental	26
Figura 3 – Evento e desastres de origem natural	30
Figura 4 – Modelo esquemático da forma adequada e legal de ocupar os espaços urbanos	47
Figura 5 – Gestão das interfaces externas à cidade	51
Figura 6 – Elementos de um sistema de drenagem	54
Figura 7 – Esquemas de bocas de lobo	55
Figura 8 – Temas adotados no desenvolvimento da pesquisa sobre inundações e enxurradas	58
Figura 9 – Suscetibilidade morfométrica às inundações e enxurradas, Irati-PR	63
Figura 10 – Modelo do comportamento da régua fluviométrica quanto ao pico de cheia em rios	66
Figura 11 – Confecção da régua fluviométrica	66
Figura 12 – Localização da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	78
Figura 13 – Situação dos canais de drenagem na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	79
Figura 14 – Estação Ferroviária em 1899 – Irati-PR	81
Figura 15 – Climatograma de Irati-PR	84
Figura 16 – Vertentes e pontos amostrados da topossequência na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	85
Figura 17 – Geologia da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	87
Figura 18 – Hipsometria da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	88
Figura 19 – Declividade da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	89
Figura 20 – Inundação na área central em 1940, Irati-PR	90
Figura 21 – Enchente na área central em 2013, Irati-PR	92
Figura 22 – Extravasamento do Arroio dos Pereiras em 2014, Irati-PR	92
Figura 23 – Áreas atingidas por inundações em 2014 no perímetro urbano de Irati-PR	93
Figura 24 – Pluviograma do período de 1980 a 2015, Irati-PR	97
Figura 25 – Infiltração da água na Bacia Arroio dos Pereiras nos anos de 1980, 2004 e 2013, Irati-PR	109

Figura 26 – Infiltração sazonal em diferentes tipos de uso do solo na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR, em 1980	110
Figura 27 – Infiltração sazonal em diferentes tipos de uso do solo na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR, em 2004	111
Figura 28 – Infiltração sazonal em diferentes tipos de uso do solo na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR, em 2013	112
Figura 29 – Expansão Urbana entre 1907 e 2016 na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	115
Figura 30 – Usos da terra nos anos de 1980, 2004 e 2013 na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR.....	117
Figura 31 – Classe Água – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR	118
Figura 32 – Classe Áreas Gramadas – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR	118
Figura 33 – Classe Campestre – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR	119
Figura 34 – Classe Cultivo – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR.....	120
Figura 35 – Classe Edificações – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR	121
Figura 36 – Classe Lotes Baldios – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR	121
Figura 37 – Classe Praças – Praça da Matriz Nossa Senhora da Luz – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR	122
Figura 38 – Classe Vegetação Arbórea – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR	123
Figura 39 – Classe Vias Não Pavimentadas – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR.....	124
Figura 40– Classe Vias Calçadas – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR	124
Figura 41 – Classe Vias Pavimentadas – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR	125
Figura 42 – Obra de melhoria da rede de drenagem na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	125
Figura 43 – Mapa de setorização da Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR	127
Figura 44 – Áreas Potencializadoras de Inundações e Enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	133

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Registro de Eventos Extremos em âmbito mundial – 1980-2015	32
Gráfico 2 – Precipitação anual de 1980 a 2015, Irati-PR	96
Gráfico 3 – Ritmo climático entre os dias 01 e 15 de junho de 2014, Irati-PR	98
Gráfico 4 – Balanço Hídrico Anual – Irati-PR (1980-1991)	103
Gráfico 5 – Balanço Hídrico Anual – Irati-PR (1992-2003)	104
Gráfico 6 – Balanço Hídrico Anual – Irati-PR (2004-2015)	105
Gráfico 7 – Infiltração em diferentes usos da terra na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	106
Gráfico 8 – Equação da Reta	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação de Desastres Naturais do Centro de Pesquisa de Epidemiologia em Desastres (CRED) adotada pelo <i>Emergency Events Database</i> (EM-DAT)	29
Quadro 2 – Classificação de desastres naturais segundo a Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)	29
Quadro 3 – Danos decorrentes de inundações em áreas urbanas	35
Quadro 4 – Modelo da infiltração das águas pluviais para diferentes tipos de uso do solo.....	41
Quadro 5 – Algumas das pesquisas realizadas em bacias hidrográficas urbanas no Brasil na última década	45
Quadro 6 – Elenco de medidas para gestão de drenagem urbana	52
Quadro 7 – Tempo de retorno para sistemas urbanos.....	53
Quadro 8 – Modelo de comprometimento à infiltração da água em diferentes tipos de uso do solo no espaço urbano	68
Quadro 9 – Modelo síntese das características morfométricas de bacias hidrográficas.....	69
Quadro 10 – Proposta de classificação da relação da capacidade de infiltração da água no solo e as características de uso e ocupação em bacias hidrográficas urbanas	72
Quadro 11 – Legislações que embasam a definição de classes de declividade	73
Quadro 12 – Posoridade de rochas sedimentares	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros Morfométricos das Bacias Hidrográficas Urbanas de Irati-PR	61
Tabela 2 – Suscetibilidade Morfométrica às inundações e enxurradas das Bacias Hidrográficas Urbanas de Irati-PR.....	62
Tabela 3 – Precipitação para o IAPIE	72
Tabela 4 – Infiltração da água em diferentes usos da terra para o IAPIE	73
Tabela 5 – A declividade para o IAPIE.....	73
Tabela 6 – Classificação Qualitativa dos Balanços Hídricos para o PR aplicado ao IAPIE	74
Tabela 7 – Suscetibilidade Morfométrica a Inundações e Enxurradas no IAPIE.....	75
Tabela 8 – O solo no IAPIE	75
Tabela 9 – Classes do IAPIE.....	76
Tabela 10 – Evolução demográfica de 1970 a 2010, Irati-PR	82
Tabela 11 – Ocorrências de Eventos Extremos entre os anos 1980 e 2015 no Município de Irati-PR.....	91
Tabela 12 – Medições em campo do nível fluviométrico e precipitação em 2015 e 2016 no Arroio dos Pereiras, Irati-PR.....	100
Tabela 13 – Vazão da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR.....	101
Tabela 14 – Relação inundações e excedente hídrico em Irati-PR (1980-2017). ...	102
Tabela 15 – Quantificação das classes de infiltração da água na Bacia Arroio dos Pereiras nos anos de 1980, 2004 e 2013, Irati-PR.....	113
Tabela 16 – Quantificação das classes de uso do solo na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR.....	116
Tabela 17 – Setorização da Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR.....	126
Tabela 18 – Classes de Infiltração da água no solo por setor da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati – PR.....	129
Tabela 19 – Classes de declividade por setor na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR	130
Tabela 20 – Solos por setor na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR.....	130
Tabela 21 – Síntese dos parâmetros do IAPIE na Bacia Arroio dos Pereiras.....	130
Tabela 22 – Áreas Potencializadoras de Inundações e Enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras.....	131

Tabela 23 – Aplicação do IAPIE em cenários futuros no Setor 6 da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR.	134
Tabela 24 – Potencial futuro de inundações e enxurradas do Setor 6 da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR.....	134

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
 CAPÍTULO I – EVENTOS EXTREMOS, INUNDAÇÕES E ENXURRADAS: CONCEITOS E DISCUSSÕES	 23
1.1 CONCEITOS DE DESASTRES E SUAS CLASSIFICAÇÕES	23
1.2 RELAÇÃO ENTRE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E DESASTRES EM ÁREAS URBANAS	31
1.3 O USO E OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO E O PROCESSO DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	38
1.4 BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS COMO PALCO DA OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES E ENXURRADAS	42
1.5 INUNDAÇÕES E ENXURRADAS ASSOCIADAS À DRENAGEM URBANA.....	49
 CAPÍTULO II – PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	 58
2.1 ÍNDICE DE ÁREAS POTENCIALIZADORAS DE INUNDAÇÕES E ENXURRADAS (IAPIE)	71
 CAPÍTULO III – A BACIA HIDROGRÁFIA ARROIO DOS PEREIRAS	 78
3.1 ASPECTOS SOCIOESPACIAIS	80
3.2 ASPECTOS FÍSICOS.....	83
3.3 INUNDAÇÕES E ENXURRADAS	90
 CAPÍTULO IV – APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREAS POTENCIALIZADORAS DE INUNDAÇÕES E ENXURRADAS PARA A BACIA ARROIO DOS PEREIRAS	 95
4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS	95
4.2 DINÂMICA SOCIAL E HISTÓRICO DE INUNDAÇÕES E ENXURRADAS.....	114
4.3 O ÍNDICE DE ÁREAS POTENCIALIZADORAS DE INUNDAÇÕES (IAPIE) DA BACIA AROIO DOS PEREIRAS	126

CONSIDERAÇÕES FINAIS	136
----------------------------	-----

REFERÊNCIAS	139
-------------------	-----

INTRODUÇÃO

A ocupação do espaço por atividades humanas, sobretudo em áreas urbanas, transforma as condições originais das bacias hidrográficas. As modificações ocorrem nos elementos físicos das bacias hidrográficas, principalmente, nos processos que envolvem a infiltração da água no solo. Devido as alterações nos padrões de uso e cobertura da terra, as bacias hidrográficas urbanas tornam-se impermeabilizadas, pois, as suas propriedades hidrogeomórficas são alteradas dando lugar a superfícies e estruturas necessárias ao espaço urbano, como as edificações e as vias de locomoção pavimentadas.

Além das condições de impermeabilização do solo, muitas vezes, as cidades não seguem um planejamento adequado, principalmente, quanto ao uso e ocupação de áreas de preservação permanente, que em determinado momento podem se tornar áreas de inundações e enxurradas, afetando pessoas com diferentes perfis socioeconômicos. Quando a sociedade está vulnerável à ocorrência de inundações e enxurradas, torna-se vítima de desastres ambientais, uma vez que se encontra exposta a algum tipo de perigo.

Conforme ocorre o processo de urbanização, mais intensamente os recursos naturais são utilizados, e as alterações no uso do solo são mais evidentes. Neste sentido, o espaço urbano e as bacias hidrográficas consequentemente ocupadas, tornam-se palco de intensas atividades humanas e processos ambientais, e em nível mundial apresentam maior ocorrência de processos de inundações e enxurradas.

As inundações são resultantes de precipitações intensas e que causam os processos de extravasamento da água do leito de rios, lagos ou açudes. Já as enxurradas são causadas por precipitações intensas e concentradas, e que devido, ao relevo acidentado, escoam rápida e intensamente elevando o nível dos canais de drenagem. Portanto, quando eventos extremos de precipitação ocorrem estes processos tornam-se mais evidentes em bacias hidrográficas urbanizadas.

Estes processos chamados de desastres ambientais em espaços urbanos têm se tornado preocupantes, tanto para a população que vive em áreas de risco, quanto para a administração pública. Esta condição deixa evidente que os mapeamentos e a identificação das áreas que apresentam riscos de inundações ou potencializam estes fenômenos, servem como base à tomada de decisão para o controle dos mesmos.

Com o intuito de buscar um espaço urbano onde os elementos naturais e sociais tenham relações harmônicas, pesquisas e proposições de novas metodologias devem ser pensadas para análise e entendimento da ocorrência de inundações. Os fenômenos naturais como inundações sempre ocorreram, mesmo antes do homem ocupar e transformar a superfície terrestre. A partir do momento em que as atividades humanas passam a ser afetadas por estes fenômenos, há a necessidade de discutir, mapear e analisar as condições que potencializam os mesmos.

Quando da discussão e sistematização do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, deve ser proposto igualmente um Plano Diretor de Drenagem Urbana, o qual propiciará a gestão estrutural das condições favoráveis ao escoamento das águas pluviais e fluviais em espaços urbanos. Este pensamento está associado às ideias e experiências estrangeiras e nacionais de que, a forma mais racional e econômica para resolver problemas de inundações e enxurradas é a criação de um Plano Diretor de Drenagem Urbana.

A área de estudo desta tese é a Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, localizada no município de Irati, região sudeste do Estado do Paraná, a qual tem presenciado a intensificação de processos de inundações e enxurradas nos últimos trinta anos. Trata-se de uma bacia hidrográfica onde há diversidade no uso do solo e que nas últimas três décadas abrigou parte da expansão urbana do município de Irati. Além das atividades que configuram o espaço urbano, na Bacia Arroio dos Pereiras encontram-se atividades agrícolas associadas às modificações no uso do solo.

Neste contexto, a pergunta de partida desta tese indagava “Quais as condições que potencializam as inundações e enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras?”. A tese defendida nesta pesquisa é que as inundações e enxurradas, que ocorrem na bacia hidrográfica Arroio dos Pereiras, são potencializadas por deficiências no sistema de drenagem urbana e pela significativa impermeabilização do solo e não por mudanças no padrão de distribuição e quantidade de precipitação.

Sendo assim, o objetivo geral desta tese é: Entender as inundações e enxurradas ao identificar áreas potencializadoras desses processos na Bacia Arroio dos Pereiras no Município de Irati-PR. Os objetivos específicos consistem em identificar os diferentes tipos de uso do solo, analisar as características hidrográficas dos canais de drenagem da bacia, monitorar as condições de precipitação e vazão,

diferenciar as áreas permeabilizadas e impermeabilizadas, e caracterizar o sistema de drenagem urbana na Bacia Arroio dos Pereiras.

Para tanto, esta tese apresenta uma proposta metodológica para determinar o Índice de Áreas Potencializadoras de Inundações e Enxurradas (IAPIE). A ideia é identificar quais as áreas, de uma bacia hidrográfica urbana, apresentam maior potencial para desencadear inundações e enxurradas em áreas a jusante. São considerados os parâmetros: precipitação, infiltração da água no solo, declividade, balanço hídrico, morfometria e tipos de solos.

A presente tese é constituída por quatro capítulos, sendo o primeiro voltado à revisão bibliográfica e intitulado Eventos Extremos, Inundações e Enxurradas: Conceitos e Discussões. Os conceitos abordados e as discussões ocorrem buscando entender os riscos e vulnerabilidades aos desastres ambientais, eventos climáticos extremos e desastres em áreas urbanas, o uso e ocupação do espaço urbano e os processos de impermeabilização do solo, as bacias hidrográficas urbanas como palco da ocorrência de inundações e enxurradas, e a influência da drenagem urbana nestes desastres ambientais.

No segundo capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos e a integração das informações, onde estão descritas as metodologias adotadas na análise das condições climáticas e físicas, da dinâmica social e da infraestrutura urbana, mais especificamente, à rede de drenagem urbana. Em seguida, apresenta-se a metodologia do IAPIE, proposta e inovação desta tese, e suas etapas para a identificação das áreas que potencializam as inundações e enxurradas na Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras.

No terceiro capítulo é apresentada a caracterização da área de estudos, a Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, evidenciando os aspectos socioeconômicos e físicos, e o histórico da ocorrência de inundações e enxurradas. Apresenta-se, nesta parte da pesquisa, os aspectos da ocupação urbana na bacia Arroio dos Pereiras e quais atividades foram mais evidentes no processo de urbanização e que caracterizam a área de estudos como uma bacia hidrográfica urbana.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões obtidos a partir da aplicação da metodologia do IAPIE, por meio da descrição das condições climáticas e físicas, da infraestrutura urbana que resultam nas inundações e enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras, deixando evidente quais são as áreas da bacia estudada

que mais influenciam nos processos de inundações e enxurradas, conforme características de uso do solo, declividade, tipo de solos e precipitação.

CAPÍTULO I

EVENTOS EXTREMOS, INUNDAÇÕES E ENXURRADAS: CONCEITOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são abordados e discutidos os principais conceitos que delineiam esta pesquisa, como os conceitos de eventos climáticos extremos e desastres, considerando seus principais tipos; a configuração do espaço urbano e sua influência na ocorrência de desastres climáticos; a relação do processo de urbanização na impermeabilização do solo; drenagem urbana e consequente intensificação dos desastres supracitados.

1.1 CONCEITOS DE DESASTRES E SUAS CLASSIFICAÇÕES

Para Freitas *et al* (2012) os desastres chamados de naturais não são resultantes apenas de fenômenos da natureza. Para esses autores estes desastres resultam de processos sociais não sustentáveis que causam relações inadequadas entre os ambientes natural e construído. Neste sentido, os desastres naturais são resultados de modelos de desenvolvimento o que influencia direta e indiretamente as condições de vulnerabilidade por alterações no uso do solo por meio da ocupação e transformação do ambiente natural sem considerar a sustentabilidade (SAITO, SORIANO e LONDE, 2015).

Quanto aos conceitos de risco e vulnerabilidade, Mendonça (2011, p.113-114) afirma que:

[...] os riscos socioambientais urbanos dizem respeito aos fenômenos imbricados de contingências naturais e sociais que desestabilizam as condições de vida das sociedades urbanas; eles evidenciam elementos e fatores de ordem natural (ambiental) e social (cultural, política, econômica e tecnológica). [...]. Diretamente associada aos riscos está a vulnerabilidade socioambiental urbana que, também atrelada a uma série de contingências sociais, políticas, econômicas, culturais, tecnológicas, etc. explicitam diferentes condições de exposição e de fragilidade de grupos sociais aos riscos. Dito de outra maneira, a vulnerabilidade socioambiental urbana evidencia a heterogeneidade dos impactos advindos dos riscos que se abatem sobre uma dada população, constituindo ambos – risco e vulnerabilidade socioambiental urbana – uma seara de alta complexidade para a compreensão e gestão urbana.

Eiser *et al* (2012) afirmam que o conceito de risco é central em temas

diversos como saúde, meio ambiente, tecnologia, finanças e segurança. Para os autores além de se tentar definir risco conforme temas diferentes, deve-se fazê-lo em termos de processos, sendo estes gerais e aplicáveis em uma ampla gama de tópicos. No entanto, o mais importante é que o risco não surge apenas como uma condição futura que pode ser descrita, mas a partir da incerteza, real ou percebida. Viver com processos naturais que são periodicamente perigosos faz com que as pessoas tenham de agir em condições de incerteza, independente de crenças e condições sociais e culturais.

Robaina (2008) define risco como sendo a probabilidade de ocorrência de algum dano à população (pessoas e bens materiais), sendo uma condição potencial de ocorrência de um acidente causado por fenômenos naturais. Assim, o risco depende da probabilidade de ocorrência de um processo natural e a vulnerabilidade da sociedade. Segundo Pedrosa (2012, p. 12):

A análise dos riscos naturais deve procurar contemplar os fatores inerentes em duas grandes dimensões: a dimensão espacial que compreende os fatores permanentes, as áreas afetadas e os elementos expostos fixos, isto é, a presença permanente do homem no meio físico; a dimensão temporal do risco que depende dos fatores desencadeantes e dos elementos expostos móveis. [...] a ocorrência de um determinado processo do meio físico resulta da conjugação dos fatores permanentes e fatores desencadeantes. Já a vulnerabilidade da sociedade decorre da probabilidade dos elementos fixos e móveis serem afetados pelos fenômenos naturais.

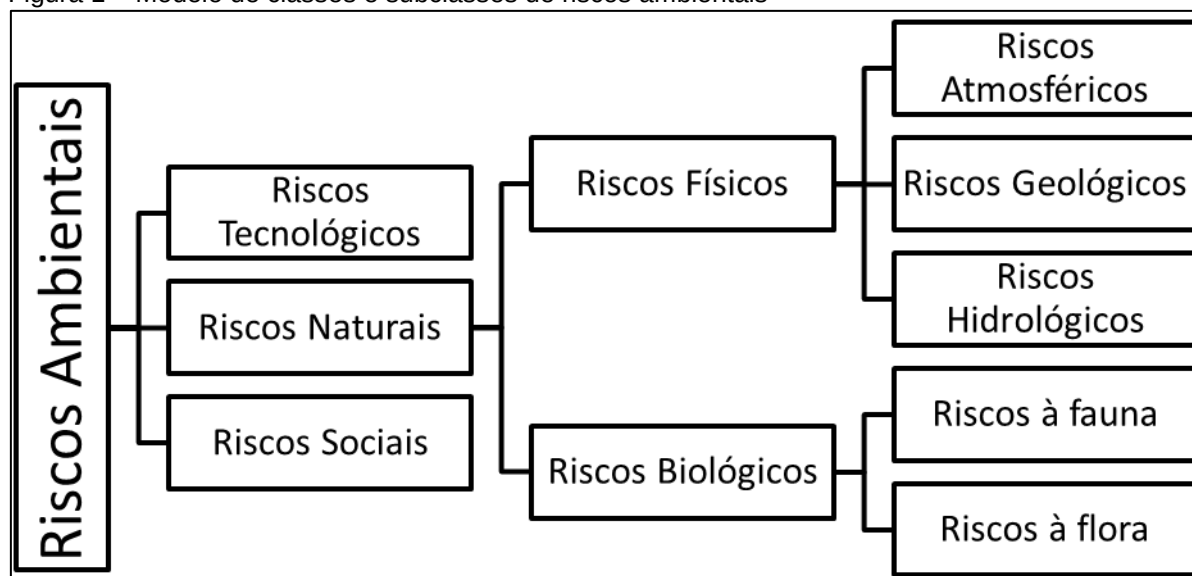
Quanto aos riscos, Cerri e Amaral (1998) consideram riscos ambientais como uma grande categoria subdividida em classes, conforme a origem destes riscos: riscos tecnológicos (vazamentos de produtos químicos), riscos sociais (guerras, conflitos, atentados) e riscos naturais. Os riscos naturais são subdivididos em: riscos físicos (atmosféricos, geológicos e hidrológicos) e riscos biológicos (associados à fauna e à flora) (Figura 1).

Segundo Marengo (2015) os desastres no Brasil são causados por eventos climáticos. No entanto, o autor enfatiza que outros fatores como a urbanização, planejamento urbano e gerenciamento de recursos naturais são determinantes em perdas de vidas e na economia da área afetada. Condições de pobreza, má administração, investimentos precários em prevenção de desastres deixam a população mais vulnerável.

A urbanização no Brasil tem ocorrido desordenadamente, com planejamento

ineficaz ou até mesmo inexistente, caracterizado pela ocupação de áreas de fragilidade ambiental. Esta situação contribui para o surgimento e/ou intensificação de riscos e impactos ambientais o que compromete o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida, bem-estar e segurança da população (ABREU e ZANELLA, 2015).

Figura 1 – Modelo de classes e subclasses de riscos ambientais



Fonte: Cerri e Amaral (1998) (modificado pela autora)

Neste sentido, Ayach *et al* (2012) afirmam que se torna importante a gestão dos riscos em áreas urbanas e que o principal desafio consiste em gerir o espaço urbano por meio de proposições de políticas de desenvolvimento e na busca de soluções habitacionais física e socialmente adequadas. Para os autores “pensar a sociedade atual no contexto urbano, requer entendimento de sua dinâmica e os fatores que influenciam sua qualidade de vida” (AYACH *et al*, 2012, p. 50).

Os desastres naturais são resultantes dos impactos na sociedade decorrentes de um evento físico ou *hazard*¹, como, por exemplo, excesso ou déficit de chuva, ventos fortes, erupções vulcânicas, terremotos. Mesmo estes eventos sendo distintos apresentam características comuns como: potencial elevado para afetar fortemente uma localidade, pois são bastante energéticos; são componentes da dinâmica evolutiva do planeta, pois ocorrem naturalmente; e apresentam diversas situações de variabilidade natural (NUNES, 2015).

Segundo Mattedi e Butzke (2001) o conceito de *hazard* abrange fenômenos

¹ Perigo.

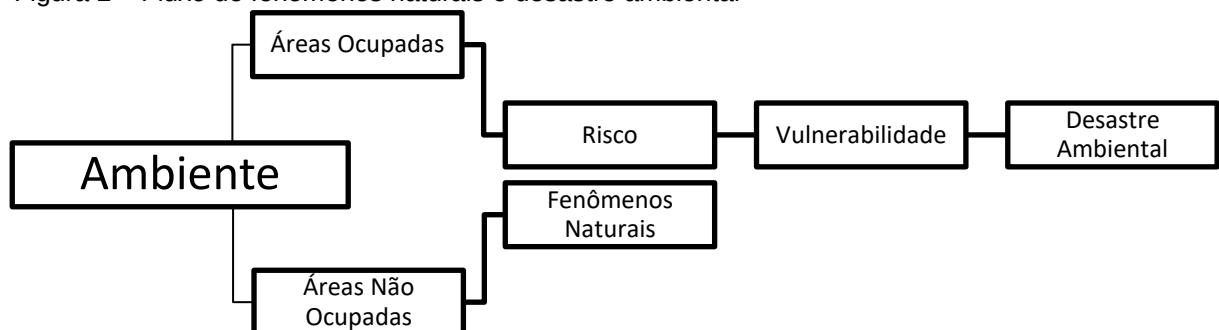
como, avalanches, terremotos, erupções vulcânicas, ciclones, deslizamentos, tornados, enchentes, epidemias, pragas, fome e outros. Eventos geofísicos que não afetam as atividades humanas não são considerados *hazards*, pois estes são definidos como uma rede de fatores físicos que interagem com a realidade cultural, política e econômica de uma sociedade.

Licco e MacDowell (2015, p. 160) evidenciam que:

Mais do que pela influência das forças naturais, os desastres são definidos pela vulnerabilidade dos sistemas humanos, ou seja, pela suscetibilidade das pessoas ou de suas coisas expostas a um perigo. Assim, a maior ou menor intensidade de um desastre dependerá da vulnerabilidade da população exposta. Desgraçadamente, as populações mais pobres são as mais expostas e vulneráveis.

Na figura 2 está evidente que os fenômenos naturais não se tornam desastres caso não envolvam ou resultem em danos à população. Um desastre natural só será considerado como tal quando determinada população que ocupa áreas de risco esteja vulnerável às perdas de vidas humanas e econômicas.

Figura 2 – Fluxo de fenômenos naturais e desastre ambiental



Org.: A autora.

Para Alcántara-Ayala (2002) antes do surgimento do homem na superfície terrestre, os eventos geofísicos como terremotos, erupções vulcânicas, escorregamentos e inundações ocorreram ameaçando a flora e a fauna existentes no momento. Com a presença humana estes acontecimentos geofísicos transformaram-se em desastres naturais. As transformações nas sociedades humanas e suas ligações com o ambiente serviram como modelos da dinâmica de riscos naturais e, portanto, de desastres naturais.

Para Kuhnen (2009) quando os desastres são naturais, as atividades humanas inadequadas podem provocar ou intensificar estes eventos. Segundo a

autora, os chamados desastres naturais devem ser entendidos não como fenômenos acidentais ou imprevisíveis e que são resultantes de condições físicas, mas que causam fatalidades às sociedades.

Os desastres ocorrem quando a exposição aos perigos naturais é maior que a capacidade das sociedades em conter os elementos e as ações decorrentes deste perigo (GONÇALVES e BARROS, 2016). Uma inundação, por exemplo, se tornará um desastre se a população afetada não tiver condições de suportar este fenômeno. Segundo Vestena *et al* (2014) os desastres naturais resultantes das inundações ou alagamentos são os principais problemas que as cidades brasileiras enfrentam. Devido à esta condição, todos os anos são contabilizados prejuízos patrimoniais e de vidas humanas.

McBean (2004) afirma que o aumento da ocorrência de desastres naturais no planeta é devido a fatores antropogênicos, como o crescimento populacional, segregação socioespacial, acumulação de capital fixo em zonas perigosas, avanço tecnológico das comunicações e mudanças globais.

Ao tratar da relação das mudanças globais com os desastres naturais Marcelino, Nunes e Kobiyama (2006) afirmam que alterações na dinâmica atmosférica, oceânica e terrestre são evidenciadas por dados concretos. Para os autores o aumento das concentrações de CO₂ e a elevação da temperatura global, têm repercutido drasticamente resultando em frequentes e severas instabilidades atmosféricas. As mudanças climáticas que intensificam e tornam mais frequentes os desastres resultantes de eventos climáticos extremos, principalmente, os associados ao ciclo hidrológico (chuvas intensas, inundações, enxurradas, deslizamento de encostas, secas) (MARENGO, 2015).

Os fenômenos naturais severos, como inundações, escorregamentos, secas e furacões, são influenciados por características regionais, como rocha, solo, topografia, vegetação e condições meteorológicas. Caso os fenômenos intensos ocorram em áreas onde há a ocupação humana, os resultados são danos materiais e humanos e prejuízos socioeconômicos, são chamados desastres naturais (KOBIYAMA *et al*, 2006).

Para Marcelino (2007) o acontecimento dos desastres envolve três fases: o *Antes*, momento que precede o evento; o *Durante*, momento do impacto e suas consequências; e o *Depois*, relacionado a reestruturação das áreas atingidas. Para o autor isto configura um ciclo que precisa ser gerenciado de forma abrangente,

visando a redução de vítimas fatais.

Os desastres que ocorrem no planeta são produtos da inter-relação entre fenômenos naturais e desequilíbrio nos ecossistemas, influenciados pelas atividades humanas como a degradação ambiental, ocupação irregular de áreas de risco, ausência de planejamento urbano, entre outros (COMFORT, 2005).

Segundo o Ministério da Saúde (2007), o desastre pode ser definido como o resultado de eventos adversos, naturais ou não sobre um ecossistema vulnerável, o que causa danos humanos, materiais, ambientais e prejuízos econômicos e sociais. O IBGE (2005, p. 27) define desastre como:

Interrupção séria do funcionamento de uma comunidade ou sociedade que causa perdas humanas e/ou importantes perdas materiais, econômicas e ambientais. Excede a capacidade de uma comunidade ou sociedade afetada de fazer frente à situação utilizando seus próprios recursos.

Tobin e Montz (1997) conceituam desastres como resultado de eventos que causam impactos na sociedade e são distinguidos conforme sua origem, ou seja, da natureza do fenômeno que o desencadeia.

O *Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)*² classifica os desastres em naturais e tecnológicos. Os desastres naturais são os resultantes de fenômenos e desequilíbrios da natureza subdivididos em geofísicos, climatológicos, hidrológicos, meteorológicos e biológicos, os quais abrangem 12 especificações de desastres e mais de 30 subtipos. Os desastres tecnológicos correspondem aos acidentes industriais e de trânsito com produtos químicos perigosos (Quadro 1). Esta classificação é adotada pelo *Emergency Events Database (EM-DAT)*³ onde estão organizados dados de desastres ocorridos em todos os continentes (SAITO, SORIANO e LONDE, 2015).

No Brasil, a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), em termos de classificação própria dos desastres, adotava a Codificação de Desastres, Ameaças e Riscos (CODAR). A partir de 2012, buscando aproximar a classificação brasileira das normas internacionais, a CODAR foi substituída pela Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), cuja base de classificação é a utilizada pelo EM-DAT (Quadro 2). O Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINDPDEC) classifica os desastres quanto à origem, à evolução e à intensidade. Quanto à

² Centro de Pesquisa de Epidemiologia em Desastres.

³ Banco de Dados de Eventos Emergenciais.

origem os desastres podem ser naturais, antropogênicos e mistos. Considerando a evolução dos desastres, estes são classificados em súbitos (tornados) ou graduais (secas). A intensidade dos desastres pode ser avaliada em quatro níveis, sendo o I desastres pequenos e IV não superáveis pelo município sem que ele receba ajuda externa (SAITO, SORIANO e LONDE, 2015).

Quadro 1 – Classificação de Desastres Naturais do Centro de Pesquisa de Epidemiologia em Desastres (CRED) adotada pelo *Emergency Events Database* (EM-DAT)

Subgrupo	Definição	Principais tipos de desastre
Desastres Geofísicos	Eventos originados na geosfera	Terremoto, erupção vulcânica, movimento de massa (seco)
Desastres Meteorológicos	Eventos causados por processos atmosféricos de curta duração (de minutos a dias)	Tempestade
Desastres Hidrológicos	Eventos causados por alterações no ciclo normal da água e/ou por transbordamento de sistemas hídricos por ação dos ventos	Inundação, movimento de massa (úmido)
Desastres Climatológicos	Eventos causados por processos de longa duração (variabilidade climática de intrassazonal a multidecadal)	Temperaturas extremas, secas, incêndios espontâneos
Desastres Biológicos	Eventos causados pela exposição de organismos vivos a germes e substâncias tóxicas	Epidemias, infestação de insetos, debanda de animais

Fonte: Saito, Soriano e Londe (2015, p. 32).

Quadro 2 – Classificação de desastres naturais segundo a Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)

Grupo	Subgrupo
Geológico	Terremoto, emanção vulcânica, movimento de massa, erosão
Hidrológico	Inundações, enxurradas, alagamentos
Meteorológico	Sistemas de grade escala/escala regional, tempestades, temperaturas extremas
Climatológico	Seca
Biológico	Epidemia, Infestações/pragas

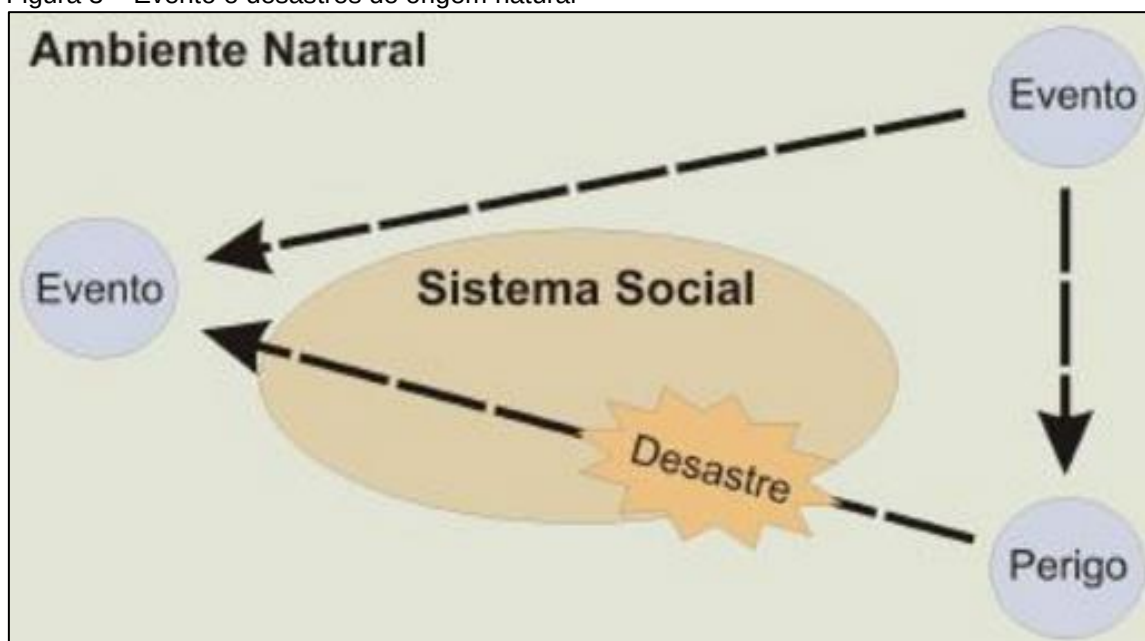
Fonte: Saito, Soriano e Londe (2015, p. 36).

Considerando a classificação de desastres, a diferença está na participação direta ou não do homem. Sendo assim, os desastres podem ser distinguidos em humanos ou naturais. Castro *et al* (2007) afirmam que os desastres humanos são

gerados por ações ou omissões humanas (acidentes de trânsito, incêndios industriais, contaminação de rios). Para os autores os desastres naturais são causados pelo impacto de um fenômeno natural de grande intensidade sobre uma área povoada podendo ou não ser agravado pelas atividades humanas.

Marcelino (2007) considera que na natureza acontecem diversos fenômenos participantes da geodinâmica terrestre, responsáveis pela estruturação da paisagem. No entanto, se ocorrerem sobre um sistema social, é gerada uma situação potencial de perigo. Havendo o impacto, só será considerado como desastre quando os danos e prejuízos forem extensivos e de difícil superação pela população. Se não houver danos ou acontecerem em áreas não ocupadas o fenômeno volta a ser considerado natural (Figura 3).

Figura 3 – Evento e desastres de origem natural



Fonte: Marcelino (2007, p. 6)

Xavier, Barcello e Freitas (2014) afirmam que os desastres naturais são resultantes de processos naturais (ainda que tenham seus ciclos alterados por processos sociais e econômicos como, por exemplo, os ciclos climáticos e emissões de dióxidos de carbono) e de processos existentes nas estruturas e dinâmicas das sociedades, o que pode dificultar a separação do que é natural e do que é social em desastre.

O Atlas Nacional de Desastres Naturais do Brasil (CEPED/UFSC, 2012) afirma que a construção de uma nova realidade da Defesa Civil brasileira necessita

do conhecimento dos fenômenos e desastres. Sendo assim, é preciso o levantamento de informações e a caracterização do cenário nacional de desastres.

Segundo Marcelino, Nunes e Kobiyama (2006) no território brasileiro as ocorrências de desastres apresentam padrão similar aos que são observados e analisados no restante do planeta. Entre os anos de 1900 e 2003 foram registrados somente 261 desastres naturais e mais de 95% destes ocorreram a partir da década de 1950. A partir de 1994, as regiões sudeste, nordeste e sul foram as mais afetadas totalizando 3.157 vítimas fatais, 966.654 desabrigados e 41.919.471 afetados.

Corroborando com as palavras de Nunes (2015) os riscos de desastres têm sido intensificados por atividades que desconsideram as condições físicas dos locais. A autora afirma que “esses eventos constituem ameaça ao desenvolvimento real, tendo em vista que as perdas infligidas por eles podem comprometer esforços de décadas” (NUNES, 2015, p. 14). Quando se trata de desastre envolvem-se indutores naturais e um dos processos sociais atuais se destaca pela capacidade em alterar rapidamente o ambiente natural, a urbanização.

1.2 RELAÇÃO ENTRE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS E DESASTRES EM ÁREAS URBANAS

Segundo Hoffmann, Mendonça e Goudard (2014) os eventos climáticos extremos resultam de processos naturais. No entanto, estes processos ocorrem com magnitudes diferentes dos padrões dos fenômenos meteorológicos de uma localidade. Os autores salientam que quando estes eventos extremos entram em contato com a sociedade geram riscos e vulnerabilidades associados.

Rahman *et al* (2016) afirmam que a intensidade e a frequência de desastres vêm aumento em áreas urbanas no mundo todo, onde a metade da população mundial reside. Segundo Guha-Sapir, Below e Hoyois (s.d) na década de 1980 foram registrados 141 desastres naturais no mundo. Em 2015 o número de desastres registrados chegou a 377, sendo que em 2000 ocorreram 527 (Gráfico 1).

No Brasil, no fim da década de 1960, a intensificação da urbanização propiciou o aumento do uso dos recursos naturais visando a expansão urbana. Para que a expansão urbana ocorra é necessária a alteração da cobertura da superfície, implicando na retirada da vegetação o que interfere no ciclo hidrológico (MORAES *et*

al, 2012).

Gráfico 1 – Registro de Eventos Extremos em âmbito mundial – 1980-2015



Fonte: Guha-Sapir, Below e Hoyois (s.d.)
Org.: A autora.

Segundo Parizzi (2014) o espaço urbano está em constante crescimento e demanda obras que descaracterizam as paisagens naturais, intensificando o uso e exploração de materiais de construção e industriais, dos recursos hídricos e outros elementos naturais.

Ameaças (inundação, enchente, deslizamento de terra) contribuem para a severidade dos desastres. No entanto, a vulnerabilidade humana, resultado da pobreza e desigualdade social, potencializa os riscos. A vulnerabilidade está associada à capacidade da comunidade suportar e se comportar perante um determinado evento (SOBRAL *et al*, 2010). Segundo Barros, Mendes e Castro (2015) o aumento da vulnerabilidade da população em relação às catástrofes naturais associa-se mais ao uso indevido do solo, do que um aumento efetivo da frequência ou magnitude dos processos perigosos.

Birkmann e Wisner (2006) entendem que o termo vulnerabilidade apresenta diferentes significados e interpretações para cada pessoa. As diversas definições e significados de vulnerabilidade dificultam a mensuração da própria vulnerabilidade. No entanto, para os autores é importante haver diversos significados para vulnerabilidade sendo cada uma delas útil em aplicações especializadas. Além disso, é possível que alguns aspectos de vulnerabilidade social estejam além da quantificação.

A vulnerabilidade pode ser definida como a exposição de algo ou alguém a qualquer tipo de perigo. Esta exposição pode fazer com que se sofram diferentes graus de perda ou danos dependendo das fragilidades sociais, econômicas, sociais e culturais. O grau de vulnerabilidade de uma sociedade determina a magnitude do desastre, o nível de resiliência e o processo de recuperação (ALCÁNTARA-AYALA, 2002). A vulnerabilidade das infraestruturas e do ambiente social é reduzido pela sua capacidade de suportar os impactos negativos resultantes dos desastres naturais (KELLER e ATZL, 2014).

O conceito de vulnerabilidade, assim como o conceito de risco, destaca o fato de que a mesma é: multidimensional e diferencial, pois varia no espaço e entre e nos grupos sociais; depende de uma escala, ou seja, deve-se considerar o tempo, espaço e as unidades de análise, como indivíduos, família, região, sistema etc.; e a dinâmica, portanto, as características e as forças motoras da vulnerabilidade mudam constantemente (ALMEIDA, 2014).

Maskery (1992) aponta que condições de alta vulnerabilidade são geradas no desenvolvimento do espaço urbano. Estas condições são: aumento da população em áreas urbanas suscetíveis a acidentes; interrupção de atividades econômicas; falta de capacidade econômica para arcar com prejuízos; incapacidade de autoproteção da população morando em locais impróprios com residências de baixa qualidade; inexistência de serviços básicos (saúde); falta de conhecimento dos riscos, principalmente se os acidentes são esporádicos.

Segundo Wollmann (2014) desde os períodos mais remotos da história das civilizações as inundações aparecem dentre os acontecimentos naturais que influenciam no cotidiano das pessoas e na dinâmica dos sistemas naturais, sendo precedidas apenas por fenômenos ligados à dinâmica endógena, como vulcanismos, terremotos e maremotos. Para o autor:

Tais eventos podem ser considerados uma das consequências da atuação e dinâmica de sistemas naturais sobre a superfície terrestre que maiores alterações provocam no espaço geográfico. Essa dinâmica não se restringe apenas ao aumento da vazão que leva à enchente, mas também aos movimentos atmosféricos, aos processos geomorfológicos e, principalmente, às repercussões ocorridas nas áreas afetadas pelas enchentes, em especial nas áreas urbanas situadas às margens dos rios, onde são processos frequentes (WOLLMANN, 2014, p. 80).

No Brasil os tipos de desastres mais frequentes em áreas urbanas são as

inundações e enxurradas. Castro *et al* (2007) evidenciam a diferença entre inundação, enxurrada e alagamento. Segundo os autores as inundações são definidas como o transbordamento da água de rios, lagos e açudes. A causa deste desastre é a precipitação anormal que ao transbordar dos leitos dos rios, canais e áreas represadas invade terrenos contíguos causando danos.

As enxurradas são provocadas por chuvas intensas e concentradas, em áreas de relevo acidentado, caracterizadas por produzirem subidas elevações dos caudais que escoam de forma rápida e intensa. Sendo assim, ocorre um desequilíbrio entre o leito do rio e o volume caudal, causando o transbordamento. Os alagamentos são águas acumuladas nas ruas e nos perímetros urbanos por fortes precipitações em áreas urbanas com sistemas de drenagem deficientes (CASTRO *et al*, 2007).

Os desastres ocorridos em 1984 e 1992 correspondem às inundações nas regiões Sul e Sudeste. As causas destes desastres foram as precipitações extremas originadas pela forte atuação do El Niño. Em 1989 as inundações ocorreram no Nordeste e foram resultantes da influência da La Niña. Em outros anos os desastres ocorreram devido à dinâmica climatológica do Brasil devido à atuação de sistemas frontais e ciclônicos, influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e de sistemas isolados e de mesoescala (MARCELINO, NUNES e KOBAYAMA, 2006).

Para Monteiro (1991) as inundações, enxurradas e outros desastres não causariam danos se uma parte da população residente nas cidades não fosse levada a formas de urbanização espontânea e incerta em locais perigosos. Garcias e Pinheiro (2013) evidenciam que os desastres urbanos, baseado no conceito de desastre, são aqueles que ocorrem nos aglomerados urbanos. Considerando o espaço urbano salienta-se que existe a possibilidade de interferência do planejamento em relação às causas e sobre a vulnerabilidade, localizando-a, reduzindo-a e, principalmente, não a criando.

As cidades configuram cenários de risco com o potencial de resultar em prejuízos socioeconômicos e ambientais. O principal aspecto do espaço urbano é a alta concentração populacional, potencializando, assim, o número de vítimas e de pessoas afetadas pelos desastres naturais. Saito, Soriano e Londe (2015, p. 31) afirmam que “o espaço urbano merece especial atenção na gestão de riscos de desastres naturais, visto que são locais que criam ou potencializam fatores de risco”.

Segundo Cançado (2009) os danos causados pelas inundações em áreas

urbanas classificam-se em tangíveis e intangíveis. Os danos tangíveis correspondem aos passíveis de mensuração em termos monetários. As perdas intangíveis estão relacionadas aos bens de difícil quantificação. Outro critério de classificação adotado corresponde aos danos diretos e indiretos. Os danos diretos resultam do contato físico de bens e pessoas com a água da inundação; e os danos indiretos são decorrentes dos danos diretos, como interrupções e perturbações das atividades sociais e econômicas (Quadro 3).

Quadro 3 – Danos decorrentes de inundações em áreas urbanas

Danos Tangíveis	
Danos Diretos	Danos Indiretos
Danos físicos aos domicílios: construção e conteúdo das residências	Custos de limpeza, alojamento e medicamentos. Realocação do tempo e dos gastos na reconstrução. Perda de renda
Danos físicos ao comércio e serviços: construção e conteúdo (mobiliário, estoques, mercadorias em exposição etc.)	Lucros cessantes, perda de informações e base de dados. Custos adicionais de criação de novas rotinas operacionais pelas empresas. Efeitos multiplicadores dos danos nos setores econômicos interconectados.
Danos físicos aos equipamentos e plantas industriais	Interrupção na produção, perda da produção, receita e, quando for o caso, de exportação. Efeitos multiplicadores dos danos nos setores econômicos interconectados.
Danos físicos à infraestrutura	Perturbações, paralisações e congestionamento nos serviços, custos adicionais de transporte, efeitos multiplicadores dos danos sobre outras áreas.
Danos Intangíveis	
Danos Diretos	Danos Indiretos
Ferimentos e perda de vida humana	Estados psicológicos de estresse e ansiedade
Doenças pelo contato com a água, como resfriado e infecções	Danos de longo prazo à saúde
Perda de objetos de valor sentimental	Falta de motivação para o trabalho
Perda de patrimônio histórico ou cultural	Inconvenientes de interrupção e perturbações nas atividades econômicas, meios de transporte e comunicação
Perda de animais de estimação	Perturbação no cotidiano dos moradores

Fonte: Cançado (2009, p. 13).

No espaço urbano os riscos ambientais fazem-se presentes nas chamadas áreas de risco. Estas áreas são aquelas susceptíveis à ação de agentes naturais que colocam em risco a vida da população residente com base na relação de causa e efeito, ou seja, trata-se da ocupação de áreas impróprias que deveriam estar destinadas à preservação e manutenção dos sistemas naturais (SANTOS e SOUZA, 2014).

Nesta perspectiva, Reboita *et al* (2017, p. 21) afirmam que:

Nas cidades, em geral, pessoas com baixa renda habitam áreas inapropriadas nas cercanias de corpos hídricos: dessa forma, podem sofrer com a ocorrência de inundações e alagamentos. Moradores de outras áreas urbanas também estão expostos às consequências negativas dos eventos extremos chuvosos, se a drenagem da superfície não for suficiente para escoar a água da chuva.

Com o intuito de garantir e manter a função ambiental dos sistemas naturais e evitar que áreas potenciais se tornassem em áreas de risco, a legislação ambiental prevê a existência das áreas de preservação permanente nas margens de rios, lagos e lagoas, em encostas íngremes e topos de morros. Estas áreas a serem preservadas são mais suscetíveis a inundações e escorregamentos, principalmente em áreas urbanas (SANTOS, 2007). Para Ganem (2014) a efetivação da legislação ambiental garantiria a conservação de áreas de vegetação nativa no espaço urbano e, conseqüentemente, protegeria a população de ocupações irregulares em áreas consideradas de risco e que geram prejuízos sociais, ambientais e econômicos à população urbana.

Santos (2015) deixa evidente que a retirada da vegetação, assoreamento, ocupação de áreas declivosas, planícies fluviais, lacustres e fluviomarinhas, aumento da impermeabilização do solo e da quantidade e velocidade do escoamento superficial, interferem nos processos naturais desencadeando impactos e riscos emergentes. Segundo o autor:

Nos ambientes urbanos esses problemas assumem maior visibilidade devido à escassez de espaços, aos elevados níveis de transformação antropogênica, a concentração demográfica, e a segregação territorial, configurando, em alguns territórios, as chamadas áreas de risco. Essas áreas, geralmente, são constituídas por ambientes legalmente protegidos dotados de elevada fragilidade ambiental e rejeitados pelo mercado imobiliário, onde há precariedade do controle e fiscalização ambiental favorecendo a ocupação (SANTOS, 2015, p. 76).

Para Carvalho *et al* (2007) as áreas de risco às inundações são aquelas correspondentes aos terrenos marginais a cursos d'água e que estão ocupados por estruturas habitacionais sujeitas aos impactos diretos deste fenômeno. Os habitantes destas áreas ficam sujeitos a danos relacionados à integridade física e perdas materiais.

As áreas de riscos são consideradas quando ocupadas por atividades humanas em área na qual as condições ambientais não favorecem esta ocupação, principalmente se destinadas à moradia (TOMÁS e SANCHES, 2013), ou a outras estruturas que configuram o espaço urbano. Estas estruturas revelam formas de organização da sociedade, configurando a maior modificação do ambiente natural. As modificações que as atividades intraurbanas desencadeiam são mais velozes que a dinâmica dos processos físicos o que contribui para criar e ampliar as áreas de riscos (NUNES, 2015).

Segundo Oliveira, Guasselli e Saldanha (2012), ao se referirem às inundações, a ocupação de áreas de risco envolve a relação das atividades humanas com o regime fluvial. A ocupação do leito maior ocorre porque as inundações não apresentam regularidade ao longo dos anos, e isto, faz com que o tempo transcorra, a memória se dissipe. Estas condições propiciam a expansão irregular das áreas urbanas e a especulação imobiliária, fazendo com que a população habite áreas inundáveis consideradas áreas de riscos.

Goerl, Kobiyama e Pellerin (2012) deixam evidente a importância da identificação e inclusão das áreas de risco nos planos diretores municipais. Em municípios que estão em fase de desenvolvimento urbano, o mapeamento de áreas de risco aos fenômenos naturais torna-se importante para que as estruturas urbanas não ocorram sobre estas áreas, pois:

A produção do espaço urbano, ocorrida de forma muito célere e desordenada em grande parte das cidades brasileiras, faz com que este seja o palco onde ocorrem os maiores problemas decorrentes das inundações. O espalho urbano desordenado resulta do mau uso do solo, que por sua vez, implica na formação de áreas de risco, que serão ocupadas principalmente pela população com menor poder aquisitivo, logo a população mais vulnerável (HOFFMANN, MENDONÇA e GOUDARD, 2014, p. 224).

Quanto ao processo de urbanização Poletto (2014) destaca que este gera as mais expressivas alterações locais, devido as mudanças na cobertura do solo, aos

movimentos de terra, entre outros. Segundo o autor o componente primeiramente alterado é o coeficiente de escoamento, ou seja, a relação entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. A alteração neste coeficiente acarreta em problemas como o aumento e a frequência de desastres ambientais no espaço urbano.

Segundo Nunes, Fiori e Firpo (2011) o método do *Soil Conservation Service* (SCS) calcula o coeficiente de escoamento superficial direto (C) a partir das características do uso e cobertura da terra e das condições físicas e de umidade antecedente dos tipos de solos em bacias hidrográficas. O coeficiente é compreendido de 0 a 100, sendo 0 a representação de uma bacia de condutividade hidráulica infinita e 100 o valor a uma bacia totalmente impermeável.

Os eventos extremos têm atingido países desenvolvidos e em desenvolvimento tornando os espaços urbanos altamente vulneráveis a desastres. Toda vez que uma área urbana é atingida por evento, as residências, comércio, indústrias são impactados criando danos generalizados e direcionando o orçamento que poderia ser aplicado no desenvolvimento para questões emergenciais.

Nestas condições é imprescindível a implementação de políticas públicas que busquem tornar os espaços urbanos social e ambientalmente sustentáveis. Portanto, a governança do espaço urbano pode ser a chave na redução da vulnerabilidade aos desastres (JACOBI, MOMM-SCHULT e BOBN, 2013).

Dias (2014) evidencia que quando se trata de eventos extremos, considera-se tanto os eventos chuvosos quanto secos, como os quentes e os frios, ou sejam uma variabilidade maior do que a predominante com eventos contrastantes ocorrendo sucessivamente. Para a autora este panorama futuro sugere um planejamento e adequações das infraestruturas, principalmente às associadas aos recursos hídricos.

1.3 O USO E OCUPAÇÃO DO ESPAÇO URBANO E O PROCESSO DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

Jacobi (2004) afirma que os problemas ambientais urbanos se relacionam com a redução de áreas verdes com a intensificação da impermeabilização do solo; poluição do ar; rede de transporte inadequada; baixa cobertura de rede de esgoto; contaminação dos mananciais de água e dos rios; saturação de áreas para despejo

dos dejetos sólidos.

A urbanização torna-se a principal condição na determinação de mudanças de áreas permeáveis para impermeáveis em bacias hidrográficas urbanas. Nesta perspectiva, é de fundamental importância a elaboração de Planos Diretores que contemplem o monitoramento e a conservação de superfícies permeáveis, garantindo, assim, o fluxo de escoamento adequado às bacias urbanas (FURTINI, FERREIRA e SAMPAIO, 2007).

Valle *et al* (2016) apontam que a cobertura vegetal e o uso do solo devem ser considerados no entendimento dos problemas ambientais em bacias hidrográficas. A impermeabilização do solo não é analisada como um fator na elaboração dos objetivos, políticas e leis de um município.

Scherer e Santos (2012) deixam evidente que com a expansão dos centros urbanos e seu desenvolvimento intensivo, conseqüentemente ocorre o aumento da pavimentação dos solos e a cobertura da superfície com edificações diminui a permeabilidade natural das águas pluviais. O que na natureza ajuda a diminuir a vazão e armazenar água temporariamente (árvores, vegetação e depressões naturais) são transformados em uma topografia uniforme e recoberta por concreto. Se não existir planos de uso do solo, de gestão integrada e a fiscalização do desenvolvimento urbano, haverá a contribuição para o aumento de problemas como, as inundações e enchentes.

Considerando o aumento da impermeabilização em áreas urbanas Kauffmann e Silva (2005) afirmam que esta condição reduz as taxas de infiltração, de recarga para os aquíferos e intensificam a velocidade do escoamento superficial, ocasionando inundações e enchentes. Além das condições físicas o aumento da população associado a mudanças no uso do solo contribuem na ocorrência de eventos extremos, incluindo a distribuição e disponibilidade dos recursos hídricos.

Para Moraes *et al* (2012) as mudanças no uso do solo indicam alterações na paisagem geográfica, e a identificação de um padrão de ocupação multitemporal possibilita a compreensão dos impactos devido à ocupação humana e atividades socioeconômicas. As alterações em forma de uso do solo nas cidades, onde a impermeabilização do solo e retificação de canais são ações públicas e privadas recorrentes, subsidiam as inundações (ALMEIDA, 2012). Neste sentido:

O tipo de solo e uso do solo no meio urbano é avaliado como fator importante para a criação de perturbações hidrológicas que podem causar as enchentes. É fato incontestável que a urbanização provoca um aumento das águas de escoamento superficial, devido à impermeabilização dos solos que dificulta a infiltração, e, concomitantemente, acelera a velocidade do escoamento em direção aos cursos fluviais. Assim, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial, quando combinados com a ocupação das margens fluviais, geram acidentes cuja magnitude e consequências podem ser desastrosas (MORUZZI, CUNHA e CONCEIÇÃO, 2012, p. 305).

Segundo Capri Júnior (2012) a ocorrência de terrenos impermeáveis em áreas urbanas favorece o escoamento superficial, possibilitando a ocorrência de inundações e enchentes, tanto no próprio ambiente urbano quanto em localidades em áreas rurais. Em cidades maiores a impermeabilização agrava as inundações, principalmente, pelo maior contingente de pessoas vivendo em áreas de risco.

Em áreas urbanas, a alteração da cobertura vegetal, pode tornar o solo impermeável, logo o escoamento superficial e o pico de vazão aumentam (TUCCI, 2013). Para Machado e Torres (2012, p. 144) “a permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, maior será a quantidade de água que ele pode absorver”. Conforme a absorção da água da chuva aumenta, menor será o escoamento superficial. Tucci (2008) estima que a impermeabilização do solo em bacias urbanas provoque o aumento da vazão em cerca de sete vezes, bem como o aumento da frequência de inundações.

A permeabilidade do solo está vinculada às características geológicas, formação do solo (granulometria), morfologia da área (nível do lençol freático e espessura da camada de solo). Sendo assim, tais parâmetros devem ser considerados na análise das inundações em áreas urbanas, pois em áreas onde o solo não é impermeável, a permeabilidade pode apresentar variações (SILVEIRA, DIAS e SCHUCH, 2014).

Silva e Santiago (2007) afirmam que o aumento da impermeabilização do solo nas áreas urbanizadas impede a infiltração da água para o subsolo e aumenta o volume e a velocidade do escoamento superficial (redução do tempo de concentração da bacia), atingindo áreas mais baixas da bacia em menor tempo. Sendo assim, a necessidade de áreas verdes em bacias hidrográficas urbanas justifica-se pela busca do equilíbrio térmico e a recuperação da permeabilidade do solo, fundamental para a infiltração das águas.

Bargos e Matias (2011) refletem sobre a importância da existência de áreas

verdes nos espaços urbanos e sua relação à permeabilidade do solo. Para os autores as áreas verdes em espaços urbanos têm uma função ecológica devido a melhorias no clima da cidade e na qualidade do ar, água e solo. Estas condições resultam no bem-estar dos habitantes devido à vegetação, solo permeável e a diversificação da fauna.

Quanto à relação entre a impermeabilização do solo e os parâmetros de urbanização, Tucci (2002) afirma que um habitante irá impermeabilizar cerca de 49m² de área de uma bacia hidrográfica; para cada 10% de aumento de área impermeável, cerca de 100% de aumento no coeficiente de escoamento de cheia e no volume do escoamento superficial ocorrerão; o arruamento aumenta o volume do coeficiente de escoamento para 260% e a cada 13% de ocupação com áreas impermeáveis em lote ocorre o aumento de 115% no coeficiente de escoamento.

Segundo Mascaró e Yoshinaga (2013) em áreas urbanizadas parte é ocupada por pavimentações e outras por edificações. Estas ocupações fazem com que o solo se torne impermeabilizado e ocorra a diminuição da capacidade de infiltração. No quadro 4 é demonstrada a infiltração esperada em cada tipo de uso do solo urbano.

Quadro 4 – Modelo da infiltração das águas pluviais para diferentes tipos de uso do solo

Tipo de Urbanização	Taxa de infiltração
Edificação muito densa, áreas urbanas centrais com pátio e calçadas.	2 a 10%
Edificação medianamente densa, normalmente partes adjacentes ao centro, com jardins privados e ruas calçadas e arborizadas.	10 a 30%
Edificação pouco densa, com recuos de jardins, jardins interiores, ruas pavimentadas e calçadas parcialmente gramadas.	20 a 50%
Edificação de baixa densidade, tipo cidade jardim, grandes áreas gramadas calçadas predominantemente gramadas, ruas pavimentadas.	40 a 70%
Subúrbios com edificação esparsa, lotes baldios, ruas sem pavimentação, praças com arborização, pouco impermeabilizada.	50 a 80%
Parques, campos de esportes, reservas florestais urbanas.	70 a 98%

Fonte: Mascaró e Yoshinaga (2013, p. 95)

Nunes (2015) afirma que, nas cidades, quando há a substituição da vegetação por materiais impermeáveis, infraestruturas ineficientes de drenagem e a canalização dos rios, ocorre a diminuição da infiltração da água no solo e a capacidade de carreamento de materiais, propiciando as inundações e enchentes. A inundação em espaços urbanos ocorre:

Devido à impermeabilização do solo que acelera o escoamento através de condutos e canais, fazendo com que a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem urbana aumente, produzindo inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pelo ravinamento natural (COLLISCHONN, 2014, p. 52).

O crescimento das áreas urbanas no Brasil ainda está alicerçado na impermeabilização significativa de áreas e de canalizações artificiais. Estes procedimentos ampliam a escassez de água em função da falta de eficiência dos sistemas hídricos, contaminações e baixo reaproveitamento da água (SOUZA, CRUZ e TUCCI, 2012).

Para Zanella, Sales e Abreu (2009) pesquisas realizadas na temática de inundações em áreas urbanas necessitam de observações para o sítio urbano da área em estudo. As autoras consideram estas observações importantes na medida em que os impactos pluviais estão relacionados, não apenas às condições climáticas, mas também à eficiência da rede de drenagem, aos processos de infiltração e escoamento, que por sua vez, estão intimamente ligados aos tipos de solos, vegetação e relevo.

Segundo Bezerra (2015) o desenvolvimento urbano descontrolado provoca conflitos em relação ao meio, principalmente as condições do ciclo hidrológico e à intensa impermeabilização do solo o que impacta no escoamento natural das superfícies. A autora enfatiza que entre as alterações resultantes da ocupação urbana a mais drástica e com consequências imediatas é a impermeabilização do solo. Devido à expansão urbana aumenta-se a impermeabilização e consequentemente maiores serão as ocorrências de fenômenos ligados à inundações e enchentes.

1.4 BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS COMO PALCO DA OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES E ENXURRADAS

Em estudos de recursos hídricos, a bacia hidrográfica torna-se a unidade espacial de análise de maior relevância, pois esta representa um sistema aberto, onde constantes trocas de energia e matéria (*input* e *output*) ocorrem com a região de inserção da bacia. A quantidade de água que chega aos cursos d'água depende da área ocupada pela bacia, da precipitação (total e regime) e das perdas por

evapotranspiração e infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A ocupação urbana em planícies de inundação das bacias hidrográficas é causa e efeito do processo geomorfológico que mais gastos causam à administração pública. A concepção urbanística de ocupação de áreas planas propiciou o avanço de ocupações irregulares em várzeas por atividades urbanas. Portanto, as inundações e enxurradas estão associadas ao uso do solo sem a preocupação histórica de harmonizar o desenvolvimento econômico e social com a conservação do ambiente (ROBAINA, 2008).

Marengo (2009) afirma que eventos intensos ou extremos de precipitação afetam significativamente a sociedade, pois cheias súbitas associadas com intensos e breves eventos de chuvas podem ser os mais destrutivos dos eventos extremos. O autor enfatiza que em regiões da América do Sul observa-se um aumento na frequência de eventos de chuvas intensas o que justifica o crescente registro de desastres relacionados ao deslizamento de terras, inundações e enxurradas.

Tucci (2005) enfatiza que o escoamento pluvial pode produzir inundações em áreas urbanas em decorrência de dois processos que ocorrem isoladamente ou combinados:

Inundações de áreas ribeirinhas: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios devido à variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia;
Inundações devido à urbanização: são as inundações que ocorrem na drenagem urbana devido ao efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento (TUCCI, 2005, p. 21).

Quanto às características de inundações e enxurradas, Sausen e Narvaes (2015, p. 120) apontam que:

Os diferentes tipos de inundação (de rios, causadas por rompimento de barragens, a costeira ou aquela por derretimento de neve) e a enxurrada têm características diversas com relação ao tempo de ocorrência, magnitude, frequência, velocidade de fluxo e extensão da área atingida.

Para Nunes (2015) as inundações são determinadas por características atmosféricas, topográficas, da bacia hidrográfica e uso do solo, sendo aspectos que se alteram com o passar do tempo devido ao dinamismo dos elementos físicos e da sociedade. Hoffmann, Mendonça e Goudard (2014) afirmam que apesar de as inundações serem desastres naturais do tipo climático, estas resultam de fatores

naturais (clima, relevo, solo) e antrópicos (uso do solo). Segundo os autores as inundações ocorrem em áreas de espraiamento de águas superficiais como resultantes de alterações no ciclo hidrológico devido à impermeabilização do solo ou sua saturação, aumentando o escoamento superficial.

As bacias urbanas, com rios canalizados ou não, em áreas predominantemente planas, apresentam potencial para formar áreas alagáveis. Quando a água extrapola a rede de drenagem, pode percorrer qualquer caminho ditado pelos padrões da urbanização. Calçadas marginais tornam-se vertedouros para rios, cujas águas extravasadas quando chegam às ruas, formam verdadeiros canais, alagando construções, parques ou praças que podem funcionar como reservatórios concentrando águas que não retornarão à rede de drenagem (CARNEIRO *et al*, 2010).

Segundo Perez Filho *et al* (2006) as inundações acontecem devido a condicionantes como a impermeabilização do solo e a ocupação de fundos de vale e áreas de inundações pela população. Para os autores os problemas crônicos de inundações e enchentes causam impactos nas áreas urbanas expondo a população e provocando prejuízos econômicos e a solução seria a adoção de medidas não-estruturais como um sistema de monitoramento e alerta de inundações.

De acordo com Tucci (2003) as inundações podem ser resultantes do comportamento natural dos rios ou intensificados pela alteração produzida pelas atividades humanas na urbanização pela impermeabilização do solo e a canalização dos rios. Para o autor as inundações urbanas decorrem de dois processos que podem ocorrer de forma isolada ou integrada, pois:

Quando a precipitação é intensa e o solo não tem a capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoar para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento. O excesso do volume que não consegue ser drenado ocupa a várzea inundando de acordo com a topografia das áreas próximas aos rios. Estes eventos ocorrem de forma aleatória em função dos processos climáticos locais e regionais. Este tipo de inundação é denominado de **inundação ribeirinha**. Na medida que a população impermeabiliza o solo e acelera o escoamento através de condutos e canais a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta produzindo inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pelo ravinamento natural. Esta inundação é **devido a urbanização ou na drenagem urbana** (TUCCI, 2003, p. 45).

Cech (2013) aponta que nem todas as áreas de bacias hidrográficas com a mesma precipitação terão igual magnitude de inundações. Para o autor, isso ocorre

devido às variáveis físicas, tais como, a diferença de declividade, distribuição e características da vegetação, tamanho e forma das bacias hidrográficas. Nesta perspectiva, pesquisas têm sido desenvolvidas relacionando as condições ambientais e sociais de bacias hidrográficas com a ocorrência de inundações e enxurradas (Quadro 5).

Quadro 5 – Algumas das pesquisas realizadas em bacias hidrográficas urbanas no Brasil na última década

Autor	Ano	Bacia	Área	Objetivo	Variáveis
Perez Filho <i>et al</i>	2006	Ribeirão Quilombo (SP)	390km ²	Diagnosticar os elementos físicos e antrópicos da bacia do Ribeirão Quilombo em sua disposição espacial no decorrer de 1990 a 2000.	Hipsometria Declividade Uso do solo Demografia (setores censitários) Precipitação
Hora e Gomes	2009	Rio Cachoeira (BA)	1,72km ²	Reconhecer e mapear os aspectos físico-ambientais de trecho do rio Cachoeira.	Hipsometria Declividade Relevo Geologia Hidrografia Uso do solo Demografia
Costa e Lima	2010	Rio Apodi (RN)	14.276km ²	Delimitar as áreas de inundação e analisar a relação entre áreas inundáveis e o crescimento urbano.	Precipitação Uso e ocupação Expansão urbana Demografia
Moraes <i>et al</i>	2012	Córrego da Servidão (SP)	13,6km ²	Verificar a interferência do uso do solo nas inundações na área urbana da bacia Córrego da Servidão em diferentes cenários.	Uso do solo Expansão urbana Impermeabilização Precipitação Solos Hidrografia
Braun	2013	Ribeirão Garcia (SC)	158,9km ²	Estruturar uma proposta metodológica que auxilie na gestão de bacias hidrográficas sujeitas a inundações	Meio físico (características morfométricas, pluviométricas e fluviométricas); Meio antrópico (forma de ocupação do território e percepção da comunidade); Poder público (legislação)
Oliveira, Souza e Fragoso Júnior	2014	Rios Mandaú e Paraíba do Meio (AL e PE)	4.156km ² e 3.158km ²	Avaliar hidrologicamente a ocorrência das inundações, analisando os níveis de água e precipitação.	Vazão Precipitação

(Continuação)

(Continuação)

Autor	Ano	Bacia	Área	Objetivo	Variáveis
Santos e Souza	2014	Rio Cocó (CE)	513,84km ²	Apresentar a análise geoambiental como possibilidade de investigação da vulnerabilidade e dos riscos ambientais em áreas que sofrem os efeitos adversos da urbanização.	Geologia Precipitação Solos Uso do solo Demografia
Franco e Dal Santo	2015	Rio Luís Alves (SC)	582km ²	Relacionar parâmetros morfométricos com a ocorrência de inundações	Morfometria Precipitação
Bertolino <i>et al</i>	2016	Rio Belém (PR)	87,80km ²	Verificar a possibilidade de implantação de medidas de baixo impacto para o controle de inundações e alagamentos na Bacia Hidrográfica do Rio Belém, em Curitiba, Paraná	Áreas verdes Áreas livres Pedologia Altimetria Profundidade do lençol freático
Ávila, Almeida Neto e Felipe	2017	Rio do Peixe (MG)	2.373km ²	Avaliar a suscetibilidade morfométrica a inundações de 23 bacias tributárias que compõem a bacia hidrográfica do Rio Peixe	Morfometria

Org.: A autora.

As pesquisas supracitadas deixam evidente que as inundações e enchentes em bacias hidrográficas urbanas ocorrem em diversas localidades do território brasileiro e são resultados das dinâmicas de ocupação e uso do solo. Quanto às variáveis utilizadas ficam claras as relações entre uso do solo, precipitação, expansão urbana, demografia e o substrato físico das bacias urbanas (solos, geologia, hidrografia, morfometria). O planejamento do uso e ocupação das bacias hidrográficas urbanas devem ser discutidos, analisados e estar presentes em planos diretores municipais. Campanili e Schaeffer (2010) apresentam a forma adequada e legal de ocupar as áreas urbanas, conservando as áreas de APPs e as áreas de risco de inundações e enchentes, e de deslizamento de rochas e terra (Figura 4).

A Mata ciliar nas margens de nascentes, riachos, rios, lagos e lagoas devem ser mantidas como APPs. Além da preservação é de suma importância que as construções de casas estejam afastadas das margens dos corpos hídricos, preservando a vegetação nativa e evitando danos socioeconômicos no caso de inundações e enxurradas. Considerando estas condições o espaço urbano pode se tornar mais agradável, através da manutenção de corredores ecológicos para a flora e a fauna e espaços de lazer para a população, propiciando qualidade de vida.

Figura 4 – Modelo esquemático da forma adequada e legal de ocupar os espaços urbanos



1 – Mata ciliar nas margens de nascentes, riachos, rios, lagos e lagoas; 2 – Encostas com mais de 45° e topos de morro e de montanhas; 3 – Manguezais, dunas e restingas; 4 – Zonas industriais; 5 – Praças e jardins; 6 – Avenidas e ruas; 7 – Áreas verdes e Unidades de Conservação; 8 – Cicloviás e calçadas; 9 – Locais para prática de esportes; 10 – Efluentes; 11 – Coleta de lixo.

Fonte: CAMPANILI e SCHAFFER (2010).

As Encostas com mais de 45° e topos de morros devem ser recobertas por vegetação nativa. A ocupação destas áreas por edificações intensifica a velocidade do escoamento superficial fazendo com que a água atinja mais rapidamente os cursos de água podendo causar inundações e aumenta o risco de deslizamentos.

Os Manguezais, dunas e restingas não devem ser ocupados, pois também são APPs. As áreas de restingas quando são recobertas por vegetação tem o papel de fixar as dunas evitando a erosão das praias. Os manguezais são importantes para o equilíbrio ambiental, pois é um bioma que abriga uma importante biodiversidade, onde espécies marinhas se reproduzem e se alimentam.

As Zonas industriais são áreas destinadas ao desenvolvimento de atividades economicamente importantes. No entanto, estas áreas devem estar localizadas fora do perímetro urbano em áreas periféricas, pois causam danos ambientais e à saúde humana. Estas atividades geram resíduos que contaminam rios, mares, lagos, ar e solo, contribuindo diretamente na redução de áreas florestais e a consequente extinção de espécies vegetais e animais.

As Praças e os jardins e Locais para prática de esportes, além de serem espaços destinados ao lazer e recreação, melhorando a qualidade de vida da população nas cidades, são áreas que, devido a presença de árvores e áreas gramadas, possibilitam a permeabilidade da água no solo. Quando as inundações e enxurradas ocorrem, as praças e locais para a prática de esportes podem ser adotados como reservatório de águas que transbordam de rios e lagos, pois são espaços onde os usos não são constantes como em áreas residenciais.

As Avenidas e ruas, assim como as Ciclovias e calçadas, devem ser amplas e bem sinalizadas, priorizando o transporte público, de ciclistas e pedestres. Sempre que possível estas áreas devem ser construídas com calçamento permeável o que facilita a infiltração da água, diminuindo o aporte que chega aos canais de drenagem e geram inundações e enxurradas.

As Áreas verdes e Unidades de Conservação em espaços urbanos, garantem o equilíbrio da paisagem urbana e são fundamentais para a manutenção da qualidade do ar. Além disso, podem ser utilizadas como espaços de lazer, recreação, estudos e pesquisa sobre a biodiversidade local, pois estão relacionadas com a manutenção do patrimônio natural e o ambiente físico onde estão inseridos.

Os sistemas de tratamento de Efluentes e de Coleta e Depósito de lixo, se instalados em locais seguros, evitam o risco de infiltração de resíduos para o lençol

freático ou o vazamento dos mesmos para os cursos de água. Quando as inundações e enxurradas ocorrem os resíduos podem ser carreados pela água e a população pode ter contato direto com estes contaminantes, o que causa danos à saúde humana.

Nesta perspectiva, Barbosa (2006) enfatiza que o problema das inundações urbanas é complexo, pois envolve ações multidisciplinares e abrangentes sobre a bacia hidrográfica como um sistema integrado e dinâmico. Nesta perspectiva, o autor afirma que ações isoladas, muitas vezes, podem transferir a localização das inundações:

As ações públicas, em muitas cidades brasileiras, estão indevidamente voltadas para medidas estruturais com visão pontual. A canalização tem sido uma medida utilizada extensamente para transferir o problema de um ponto a outro na bacia, sem que sejam avaliados os efeitos para jusante ou os reais benefícios das obras. [...]. Quanto a medidas não-estruturais, para as áreas consideradas de risco, isto é, nas planícies de inundação, normalmente são adotadas soluções de caráter preventivo de modo a reduzir os danos causados pela inundação como: regulamentação da ocupação da área de inundação, previsão de cheia e plano de evacuação, entre outras. (BARBOSA, 2006, p. 15-16).

Outros espaços que devem ter atenção especial e devem ser considerados no planejamento são praças, jardins, áreas verdes e unidades de conservação. As praças e os jardins tornam-se fundamentais para garantir espaços de lazer e recreação propiciando qualidade de vida nas cidades. Quanto às áreas verdes e unidades de conservação são essenciais na garantia do equilíbrio da paisagem urbana e manutenção da qualidade do ar. A existência destes espaços configura áreas permeáveis o que facilita a infiltração da água no solo, reduzindo as suscetibilidades às inundações e enchentes.

1.5 INUNDAÇÕES E ENXURADAS ASSOCIADAS À DRENAGEM URBANA

O crescimento urbano brasileiro está alicerçado na impermeabilização do solo e canalizações, o que amplifica a escassez da água devido a ineficiência dos sistemas hídricos, contaminação e reaproveitamento insipiente da água. Pertinente a estas condições, os municípios deram início às medidas fundamentais para a alteração de formas de gestão do sistema de drenagem (SOUZA, CRUZ e TUCCI, 2012).

De acordo com Tucci (2005) as inundações e enxurradas ocorrem, dentre outros fatores, devido ao planejamento e gerenciamento inadequados da drenagem e às ideias equivocadas dos projetos de engenharia. As ideias equivocadas se refletem no objetivo de escoar rapidamente as águas pluviais, gerando custos elevados à sociedade. Deve-se considerar que a melhor drenagem é a que escoar sem causar impactos no local e à jusante. O controle das inundações e enxurradas e a diminuição de seus impactos é atribuição do poder público quanto à fiscalização, elaboração de normas, projetos públicos e de educação ambiental (NASCIMENTO, QUELHAS e FONSECA, 2007)

A Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007) define a drenagem e o manejo das águas pluviais em áreas urbanas como um conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem, de transporte, detenção ou retenção com a função de neutralizar vazões de cheias e disposição final das águas pluviais.

Tucci (2003) evidencia que, atrelado ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, os municípios devem ter um Plano Diretor de Drenagem cujo objetivo é criar mecanismos de gestão da infraestrutura urbana relacionado com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana. Este tipo de planejamento pode evitar perdas econômicas, melhoria nas condições de saúde e meio ambiente da cidade conforme princípios econômicos, sociais e ambientais definidos no Plano Diretor.

Conforme Parkinson *et al* (2003) a gestão do sistema de drenagem deve estar atrelada à gestão integrada dos recursos hídricos e controle da poluição ambiental (Figura 5). Nesta perspectiva, os municípios, os estados e o governo federal estão reconhecendo a necessidade de legitimar os princípios da drenagem urbana sustentável.

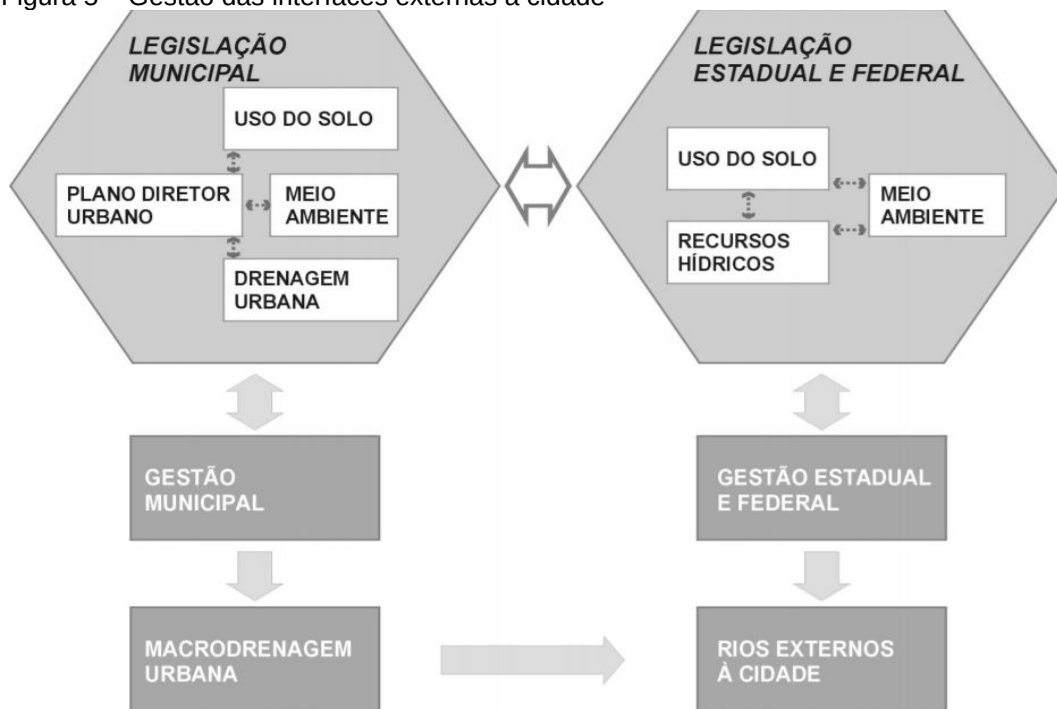
No ano de 2006 o Ministério das Cidades criou o Programa “Drenagem Urbana Sustentável”, cujo objetivo é promover a integração entre as políticas de desenvolvimento urbano, de uso e ocupação do solo e de gestão das bacias hidrográficas, a gestão sustentável da drenagem urbana com ações estruturais e não-estruturais orientadas à recuperação de áreas úmidas, à prevenção, ao controle e à redução de impactos causados por inundações e enxurradas em áreas urbanas (BRASIL, 2006).

Segundo Martins (2012) as falhas nos sistemas de drenagem urbana, resultantes da falta de espaço para escoamento das águas pluviais, não podem ser atribuídas às condições naturais apenas, e sim ao uso do solo e a desconsideração

dos princípios da dinâmica fluvial que domina o comportamento dos cursos d'água. Além disso, é preciso considerar que:

Do lado legal e administrativo o paradigma é a ausência de fontes de investimento e custeio para a gestão da drenagem, tanto no âmbito dos municípios como das unidades da federação, além da falta de conectividade entre os organismos de regulação de uso do solo, operacionalização dos sistemas de saneamento e transportes (MARTINS, 2012, p. 2)

Figura 5 – Gestão das interfaces externas à cidade



Fonte: Parkinson et al (2003, p. 9)

Os sistemas de drenagem urbana são classificados em microdrenagem e de macrodrenagem. A microdrenagem é determinada pelo sistema de condutos pluviais ou canais nos loteamentos ou na rede primária urbana, sendo projetada para atender a drenagem de precipitações com risco moderado. A macrodrenagem abrange os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem e abrange áreas superiores a 4km². Este tipo de sistema deve comportar precipitações superiores as da microdrenagem com riscos conforme os prejuízos humanos e materiais (SUDERHSA, 2002).

Coelho, Page e Hora (2016) apontam que o sistema de drenagem que outrora era eficiente para determinado uso do solo passa a ser obsoleto, causando problemas relacionados às inundações, transtornos no trânsito, transmissão de doenças entre outros. Em algumas condições, o sistema de drenagem não é

redimensionado devido aos altos custos nas obras. Buscando resolução destes problemas, algumas alternativas são consideradas, como reservatórios de retenção, barragens e desvio de cursos d'água.

Quanto à defasagem do gerenciamento da drenagem urbana, Andrade Sobrinho e Neves (2015), enfatizam que isto ocorre devido a aplicação do conceito de canalização em detrimento do ponto de vista da infiltração. A canalização propicia o aumento da velocidade do escoamento e transfere os problemas a jusante da drenagem. Para que os problemas sejam minimizados faz-se necessária a adoção de ações estruturantes e não-estruturantes e que considerem a não transferência das vazões para jusante, favorecendo a infiltração da água.

Como pode ser observado no quadro 6, a gestão da drenagem urbana dispõe de ações diretas estruturais, ou seja, obras, construções e intervenções de pequeno, médio e grande porte; ações indiretas estruturais, por meio de mecanismos de controle na fonte técnicas compensatórias; e de ações não estruturais, como as medidas institucionais, legislação, fiscalização e previsão (MARTINS, 2012).

Quadro 6 – Elenco de medidas para gestão de drenagem urbana

Medidas estruturais	Medidas não estruturais
Ampliação, modificação, retificação, revestimento, canalização dos cursos d'água naturais ou execução de galerias	Reserva de área para lazer e atividades compatíveis para os espaços abertos, margens e entorno de lagos e rios
Armazenamento ou desvio das águas a montante da região sujeita a inundações	Controle do uso do solo fora da área de inundação
Diques, muros e <i>floodwalls</i>	Securitização da área de risco de inundação
Alterações em pontes e travessias	Restrições de aproveitamento
Bacias de retenção, detenção e amortecimento	Sistema de previsão, antecipação e alerta
Bacias de sedimentação, retenção de detritos de lixo	Tratamento das populações em encostas e áreas baixas
<i>Wetlands</i> e áreas de depuração <i>in situ</i>	Programa de manutenção e inspeção do sistema de drenagem
Parques lineares	Programa de ação emergencial
Repermeabilização e permeabilização artificial do solo	Manual de drenagem e de gestão da drenagem
Relocação e demolição de estruturas	Educação ambiental
Detenção em lotes, quadras, empreendimentos, jardins de chuva, telhado verde...	Institucionalização da drenagem urbana como serviço do estado

Fonte: Martins (2012, p. 5)

Em projetos de drenagem em áreas urbanas, o risco considerado se refere à ocorrência de determinada precipitação. O risco adotado para um projeto determina a dimensão dos investimentos envolvidos e a segurança quanto às inundações e enxurradas. A análise certa envolve estudos de avaliação econômica e social dos impactos dos acidentes hidrológicos e a definição dos riscos. Esta prática torna-se inviável devido aos custos do estudo para pequenas áreas (SUDERHSA, 2002). Sendo assim, os períodos de retorno usualmente adotados podem ser verificados no quadro 7.

Quadro 7 – Tempo de retorno para sistemas urbanos

Sistema	Característica	Intervalo (anos)	Valor recomendado (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 - 5	2
	Comercial	2 - 5	2
	Áreas de prédios públicos	2 - 5	2
	Áreas comerciais e avenidas	2 - 10	2
	Aeroporto	5 - 10	5
Macro drenagem		10 - 50	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100	50

Fonte: SUDERHSA (2002, p. 28)

Para Andrade Filho, Zsélga e Enomoto (2000) o gerenciamento do controle de inundações deixa evidente a preocupação com o excesso de água que ameaça vidas humanas, causa danos econômicos e afeta as atividades cotidianas da população. O conceito de controle de inundações é dividido em gerenciamento de áreas de inundações e gerenciamento da água pluvial urbana. O gerenciamento da água pluvial também precisa considerar o gerenciamento do esgoto urbano e da drenagem pluvial.

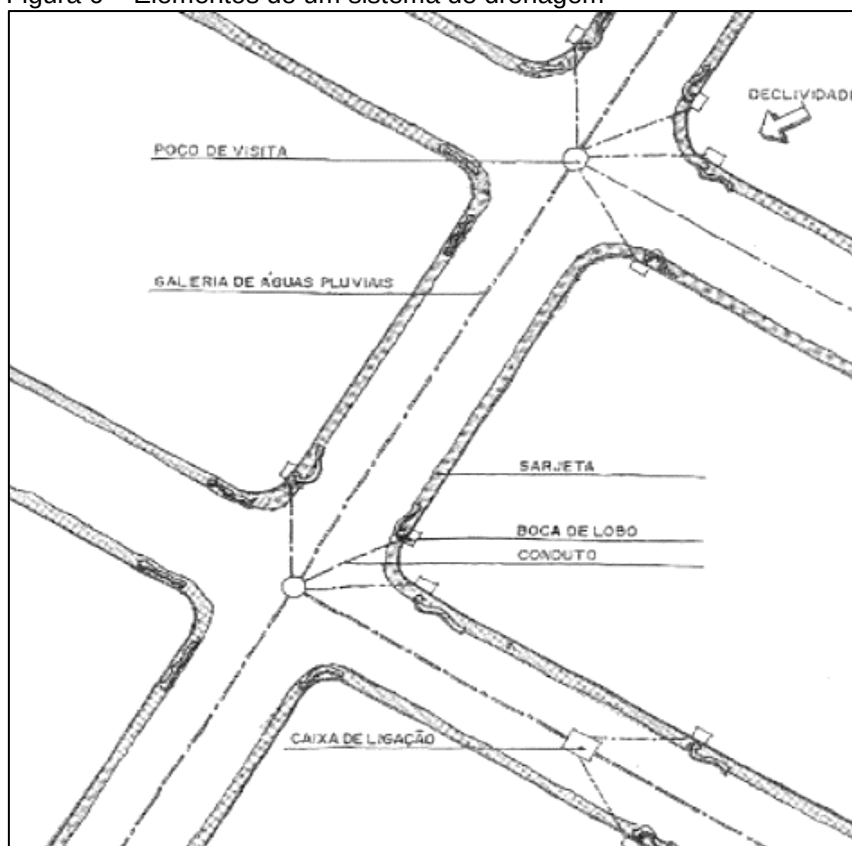
Com a mesma percepção, Vieira e Honda (2013) afirmam que a drenagem urbana, como componente do saneamento básico, influencia efetivamente no planejamento e gestão em áreas urbanas. Caso a drenagem urbana não exista ou seja ineficaz, adversidades sociais, ambientais e econômicas tornam-se evidentes, o que distingue a finalidade de bem-estar em áreas urbanizadas. Com isso, torna-se necessária a integração dos serviços de drenagem com os demais segmentos do saneamento básico, fundamentais para uma gestão positiva das águas urbanas.

No tocante ao bem-estar em áreas urbanas, Nascimento (2011, p.1) evidencia que:

O sistema de drenagem das chuvas constitui-se num item fundamental para o funcionamento das cidades, uma vez que com o crescimento das áreas urbanizadas ocorre um grande aumento de áreas impermeabilizadas, o que favorece a acumulação e empoçamento da água, que precisa ser controlado por sistemas eficientes de escoamento para evitar não somente a acumulação, mas, também, outros problemas relacionados com erosão e assoreamento. Neste sentido, as grandes e médias cidades dependem cada vez mais de sistemas de drenagem que constituem parte essencial da agenda de planejamento urbano, para assegurar crescimento ordenado com menores riscos para a população.

Para Mascaró e Yoshinaga (2013) o sistema de drenagem de águas pluviais é constituído de três partes básicas sendo, ruas pavimentadas, incluindo guias e sarjetas; rede de tubulações e seus sistemas de captação; e áreas deliberadamente alagáveis (Figura 6). Um dos elementos das vias que são fundamentais para a drenagem das águas pluviais são as bocas coletoras, bueiros ou sumidouros, também conhecidos como “bocas de lobo”.

Figura 6 – Elementos de um sistema de drenagem



Fonte: Mascaró e Yoshinaga (2013, p. 85)

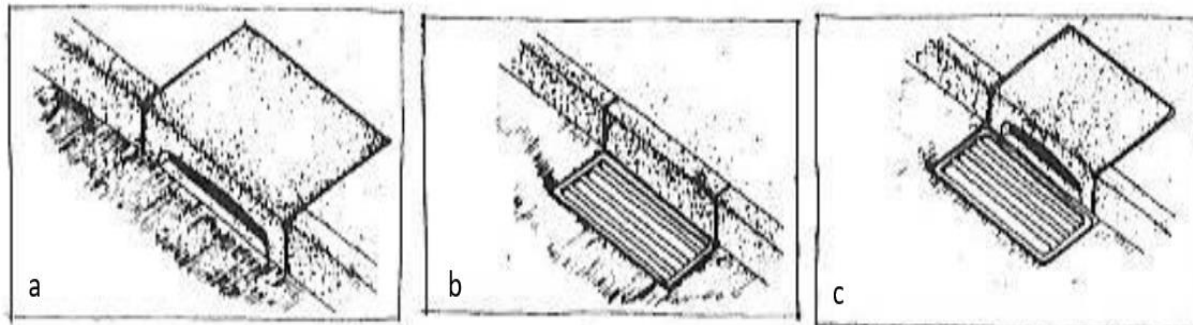
Coelho e Lima (2011) argumentam que nos sistemas de drenagem urbana, as bocas de lobo são as estruturas responsáveis pela captação das águas que escoam pelas sarjetas, unindo estes elementos de drenagem superficial à rede de

galerias subterrâneas. Os autores ainda afirmam que para que o projeto de drenagem urbana seja adequado é fundamental o domínio teórico e prático das partes que constituem o sistema.

Normalmente os bueiros ficam localizados próximos aos cruzamentos das vias e à montante da faixa de pedestres. Caso a capacidade do conjunto meio-fio e sarjeta seja esgotada rapidamente, as bocas de lobo podem ser instaladas em pontos intermediários. As bocas de lobo utilizadas no sistema de drenagem urbana são de três tipos conforme a captação da água, sendo lateral, vertical e combinado (MASCARÓ e YOSHINAGA, 2013).

O sistema de captação lateral (Figura 7a) deve ser instalado em depressão devido às condições hidráulicas da sarjeta a montante que determinam a concentração da água no meio-fio. Esse rebaixamento não deve exceder 15cm para que não prejudique pedestres e veículos. Segundo Mascaró e Yoshinaga (2013, p. 88) “a capacidade desse tipo de boca de lobo é inversamente proporcional à declividade da via e diretamente proporcional à espessura da lâmina d’água e ao comprimento da boca de lobo”.

Figura 7 – Esquemas de bocas de lobo



a – Sistema de captação lateral; b – Sistema de captação vertical; c – Sistema de captação combinado.

Fonte: Mascaró e Yoshinaga (2013, p. 88)

Os bueiros com o sistema de captação vertical (Figura 7b) da água podem ser construídos com grades de ferro ou concreto armado. Podem ser instalados em cotas inferiores à da sarjeta ou não. No entanto, se forem instalados em cotas inferiores tornam-se mais eficientes devido a maior altura d’água sobre a grade proporcionar escoamento mais fácil da água para o interior da galeria. A capacidade desse sistema depende da área de abertura e da altura da lâmina da água sobre a grade (MASCARÓ e YOSHINAGA, 2013).

O terceiro tipo de boca de lobo, com o sistema de captação combinado (Figura 7c) é o mais eficiente quanto à absorção do caudal, segundo Mascaró e Yoshinaga (2013). A abertura junto ao meio-fio torna-se uma alternativa caso a grade esteja entupida. A eficiência da grade é elevada conforme sua inclinação transversal e longitudinal, o que é muitas vezes deixado de lado, sendo que as grades são instaladas horizontalmente.

Santos (2017) destaca que os municípios devem contar com equipes permanentes de limpeza e manutenção das bocas de lobo e redes de drenagem existentes. O acompanhamento da eficiência de coleta da água pelas bocas de lobo contribui para a redução do escoamento superficial das águas das chuvas, afetando diretamente a qualidade de vida da população. Além disso, é importante que sejam criados programas permanentes de conscientização da população quanto à disposição correta de resíduos para que não ocorra a obstrução do sistema de drenagem.

Para Santos e Mamede (2013, p. 462):

Os sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais proporcionam benefícios importantes quando bem projetados. A aquisição de dados e informações para o planejamento dos sistemas é fundamental para o sucesso do empreendimento. Nestas fases, o emprego da tecnologia é fundamental, desde a obtenção de dados hidrológicos confiáveis, levantamentos planialtimétricos precisos, bem como definição da tecnologia a ser utilizada no controle dos sistemas projetados, os quais poderão ter comando centralizado, utilizando telemetria e perfeitamente integrado aos demais sistemas de serviços da cidade.

As falhas que podem ocorrer nos sistemas de drenagem nas bacias urbanas evidentes pela falta de espaço para escoamento das águas no período de inundações e suas decorrências não podem ser atribuídas apenas às causas naturais. Deve-se considerar o uso do solo e o desrespeito aos princípios da dinâmica fluvial que determina o comportamento dos cursos d'água naturais (MARTINS, 2012).

Portanto, nesta pesquisa as inundações e enxurradas serão entendidas como resultado de eventos climáticos extremos atrelados à impermeabilização do solo em bacias hidrográficas urbanizadas. Quando estes fenômenos ocorrem e afetam diretamente a população residente nas cidades ocorrem os chamados desastres de natureza ambiental. No entanto, deve-se considerar que estes desastres não são no todo naturais, mais podem ser desencadeados e/ou

potencializados pelas atividades humanas que atuam diretamente na impermeabilização do solo.

Esta condição não é diferente do que ocorre na Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, pois o processo crescente de urbanização contribui diretamente na impermeabilização do solo e consequente aumento do escoamento superficial da água precipitada, a qual é direcionada rapidamente ao leito do rio. Neste sentido, justifica-se a aplicação da metodologia do IAPIE para que possam ser identificadas quais as áreas que potencializam as inundações e enxurradas no médio e baixo curso da Bacia Arroio dos Pereiras.

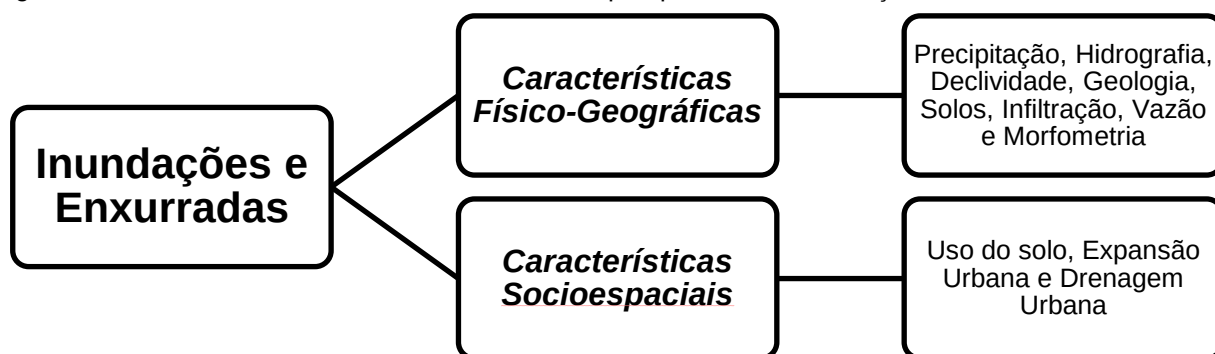
CAPÍTULO II

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos adotados no desenvolvimento da tese. A pesquisa foi desenvolvida por meio de etapas/procedimentos que consistem em estudos de gabinete e atividades de campo. Nos estudos de gabinete foram realizados levantamentos bibliográficos dos temas relacionados à pesquisa, além da discussão teórica acerca dos temas e pesquisas históricas da ocorrência de inundações e enxurradas em Irati a partir de relatos de moradores e informações de jornais.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram consideradas informações das condições climáticas e físicas da bacia hidrográfica, a dinâmica social e a infraestrutura (Figura 8).

Figura 8 – Temas adotados no desenvolvimento da pesquisa sobre inundações e enxurradas



Org.: A autora.

Apresenta-se nesta pesquisa a proposta metodológica “Índice de Áreas Potencializadoras de Inundações e Enxurradas” (IAPIE), cujo objetivo é relacionar as condições físicas que determinam áreas que podem ou não potencializar a ocorrência de inundações em bacias hidrográficas urbanas. Esta metodologia possibilitará a determinação de cenários futuros de ocorrência de inundações e enxurradas.

Os dados de precipitação, elemento propulsor da ocorrência de inundações e enxurradas, devem ser considerados em um período de pelo menos 30 anos, para aferição de possíveis mudanças no padrão de distribuição de precipitação na área de estudos. No período analisado devem ser identificadas as precipitações mais severas e intensas que tenham causado desastres ambientais. Os dados de precipitação podem

ser classificados qualitativamente, conforme proposta desta pesquisa, em Muito abaixo do normal, Abaixo do normal, Normal, Acima do normal e Muito acima do normal. Os valores dos intervalos dependem do regime de precipitação da área de estudos.

O uso do solo também deverá ser classificado qualitativamente quanto às taxas de permeabilidade do solo, conforme o mapa de Infiltração da água da bacia hidrográfica. As classes irão variar conforme os detalhes do mapeamento e quantidade de usos representados no mapa. Propõem-se nesta pesquisa que as classes de infiltração sejam nomeadas em Máxima, Alta, Média, Baixa e Mínima. Uma das condições a serem consideradas é a sazonalidade. Conforme observado em campo, as taxas de infiltração da água variam conforme o uso e a estação do ano, devido à umidade antecedente no solo determinada por condições da temperatura e distribuição da precipitação.

Deve ser analisada para a bacia a Suscetibilidade Morfométrica a inundações e enxurradas, considerando, principalmente o Coeficiente de Compacidade e o Índice de Forma. Quanto mais próximo de 1 for o coeficiente de compacidade e, se o índice de forma for igual ou superior 1, mais suscetível às inundações e enxurradas será a bacia analisada (SOUZA, 2005).

Outra relação a ser considerada é a da declividade e o tipo de solos da bacia. Esta relação possibilitará a identificação de áreas potenciais de escoamento superficial. Dependendo da declividade e do tipo do solo, a infiltração da água será menor, intensificando a velocidade e a quantidade do escoamento superficial. Portanto, deverá ser realizada previamente a classificação da declividade e dos tipos de solos. Conforme as características da declividade, as áreas da bacia poderão ser classificadas em declividade Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa, conforme as classes de declividade propostas por De Biasi (1996).

Após a determinação qualitativa de todas as variáveis, é possível elaborar situações futuras de ocorrências de inundações e enxurradas em bacias hidrográficas urbanas. Os dados coletados devem ser organizados em uma matriz para a soma dos parâmetros. A somatória dos parâmetros possibilitará a classificação dos dados conforme a influência dos setores na ocorrência de inundações e enxurradas: Potencial Muito Alto (81-100%), Potencial Alto (61-80%), Potencial Médio (41-60%), Potencial Baixo (21-40%) e Potencial Muito Baixo (0-20%).

Quanto às condições físicas, são analisadas precipitação, hipsometria, declividade, geologia, solos, vazão, infiltração, impermeabilização e morfometria da

bacia. Preliminarmente foi realizada a análise da suscetibilidade morfométrica que as bacias hidrográficas urbanas de Irati apresentavam quanto à ocorrência de inundações e enxurradas. Após a coleta de informações das bacias hidrográficas, por meio do banco de dados, estas foram tabuladas em uma planilha onde foi possível a obtenção dos resultados dos parâmetros (Tabela 1) adotados para a determinação da suscetibilidade morfométrica das bacias hidrográficas às inundações e enxurradas.

O índice de circularidade, que relaciona a área da bacia com a área de um círculo, demonstrou que a Bacia Arroio dos Pereiras, de todas as analisadas, está mais suscetível às inundações e enxurradas, pois, foi a que apresentou o índice mais próximo de 1,0, sendo 0,64. Ao ser analisado o parâmetro sinuosidade, ficou evidente que as bacias apresentam canais que tendem a ser retilíneos, pois o índice de todas ficou abaixo de 2,0. Estes tipos de canais favorecem águas com maiores velocidades, aumentando o volume da água das nascentes à foz.

Na tabela 2 estão os resultados obtidos para a classificação da suscetibilidade morfométrica das bacias. Foram estabelecidas três classes: Baixa, Média, Alta e Muito Alta. As bacias que apresentam baixa suscetibilidade morfométrica (15-18) são as bacias hidrográficas Sem Nome 2, 6, 1, 4 e 9. As bacias hidrográficas Sem Nome 7, 3, 5 e 8, Arroio do Saldanha e Arroio Lagoa foram classificadas com Suscetibilidade Morfométrica Média (19-21). Na classe de Suscetibilidade Morfométrica Alta (22-25) foram classificadas as bacias Rio das Antas, Arroio Nhapiindazal e Arroio dos Pereiras; e as bacias Arroio da Cascata e Rio Bonito apresentam Muito Alta Suscetibilidade Morfométrica (>26) às inundações e enxurradas (Figura 9).

As bacias com alta suscetibilidade morfométrica à inundações e enxurradas (Rio das Antas, Arroio Nhapiindazal e Arroio dos Pereiras) tem a hierarquia fluvial, a densidade de drenagem e o índice de circularidade com valores próximos. Tratam-se de bacias de 3ª e 4ª ordem com o índice de circularidade médios e alto. Quanto mais números de canais distribuídos pela bacia maior será o aporte de água em períodos de intensas precipitações ocasionando inundações e enxurradas e áreas próximas à foz.

As bacias com Muito Alta Suscetibilidade Morfométrica (Arroio Cascata e Rio Bonito) apresentam parâmetros morfométricos classificados como altos ou muito altos, como a área, o número de canais e o índice de circularidade. As bacias hidrográficas com elevado índice de circularidade podem ser propensas às inundações, ou seja, são bacias planas e com formato circular.

Tabela 1 – Parâmetros Morfométricos das Bacias Hidrográficas Urbanas de Irati-PR

		Parâmetros morfométricos												
Bacia		A	P	Nc	Ccp	AM	Am	AA	Hf	Dd	Is	Ic	Dp	Rr
1	Arroio Cascata	8,14	14,18	9	6,65	1000	820	180	4 ^a	2,16	1,38	0,51	0-3	27,07
2	Arroio Lagoa	6,29	13,74	5	6,44	1000	900	100	2 ^a	1,76	1,38	0,42	0-3	15,53
3	Arroio Nhapindazal	8,43	13,44	9	5,01	960	500	160	3 ^a	1,87	1,19	0,57	8-20	31,94
4	Arroio dos Pereiras	3,53	8,30	27	4,21	920	820	100	3^a	1,55	1,51	0,64	8-20	35,84
5	Arroio do Saldanha	3,21	9,05	2	4,58	900	800	100	2 ^a	1,65	1,35	0,49	8-20	21,83
6	Rio Bonito	20,38	21,64	27	7,44	920	840	80	4 ^a	2,22	1,30	0,54	0-3	8,06
7	Rio das Antas	9,42	14,58	10	6,35	920	820	100	4 ^a	2,06	1,15	0,52	0-3	15,74
8	Sem Nome 1	0,32	2,36	1	0,91	840	820	20	1 ^a	2,84	1,33	0,08	3-8	21,98
9	Sem Nome 2	0,43	2,77	1	1,06	860	820	40	1 ^a	2,46	1,16	0,10	0-3	37,73
10	Sem Nome 3	0,27	2,07	1	0,71	900	820	80	1 ^a	2,63	1,16	0,07	20-45	112,68
11	Sem Nome 4	0,82	3,95	1	1,27	900	820	80	1 ^a	1,55	1,23	0,14	8-20	62,99
12	Sem Nome 5	0,37	2,62	1	0,97	920	820	100	1 ^a	2,62	1,18	0,09	8-20	103,09
13	Sem Nome 6	0,35	2,20	1	0,74	840	820	20	1 ^a	2,11	1,16	0,08	8-20	27,02
14	Sem Nome 7	0,34	2,51	1	0,91	880	800	80	1 ^a	2,68	1,11	0,09	8-20	87,91
15	Sem Nome 8	1,79	5,78	2	2,53	880	800	80	2 ^a	1,71	1,20	0,21	0-3	31,62
16	Sem Nome 9	0,80	3,94	1	1,35	960	800	160	1 ^a	1,69	1,17	0,14	8-20	118,52

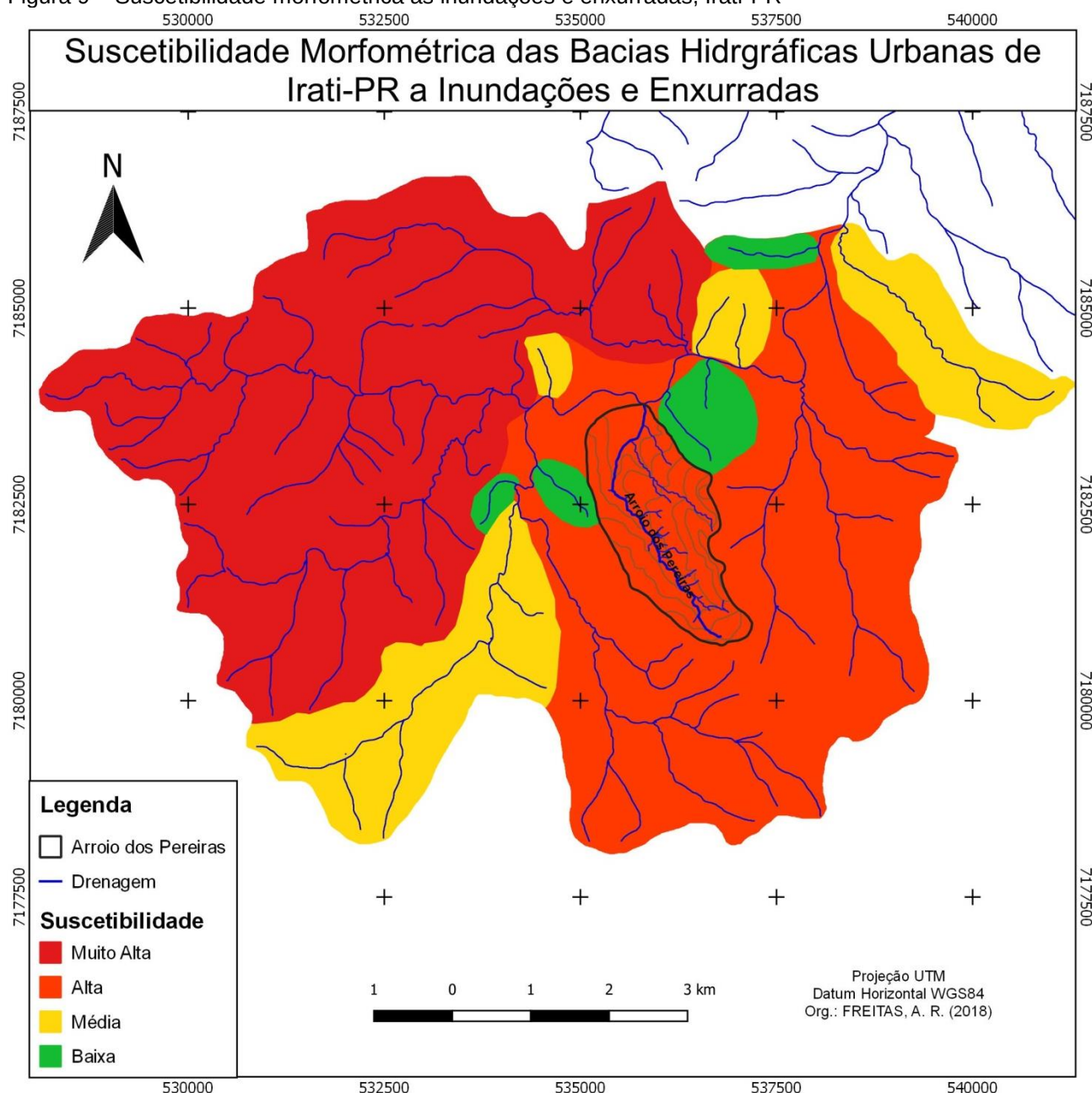
A = Área; P = Perímetro; Nc = Número de Canais; Ccp = Comprimento do canal principal; AM = Altitude máxima; Am = Altitude Mínima; Hf = Hierarquia fluvial; Dd = Densidade de drenagem; Is = Índice de sinuosidade; Ic = Índice de circularidade; Dp = Declividade predominante; Rr = Relação de relevo.

Tabela 2 – Suscetibilidade Morfométrica às inundações e enxurradas das Bacias Hidrográficas Urbanas de Irati-PR

		Parâmetros Morfométricos										Suscetibilidade	
Bacia		A	P	Nc	Ccp	Aa	Hf	Dd	Is	Ic	Rr	Soma	SM
9	Sem Nome 2	1	1	1	3	1	1	3	1	1	2	15	B
13	Sem Nome 6	1	1	1	4	1	1	2	1	1	2	15	B
8	Sem Nome 1	1	1	1	4	1	1	4	3	1	1	18	B
11	Sem Nome 4	1	1	1	3	2	1	1	2	1	3	18	B
16	Sem Nome 9	1	1	1	3	4	1	1	1	1	4	18	B
14	Sem Nome 7	1	1	1	4	2	1	4	1	1	3	19	M
5	Arroio do Saldanha	2	2	2	2	3	2	1	3	2	1	20	M
10	Sem Nome 3	1	1	1	4	2	1	4	1	1	4	20	M
2	Arroio Lagoa	3	3	2	1	3	2	1	3	2	1	21	M
12	Sem Nome 5	1	1	1	4	3	1	4	1	1	4	21	M
15	Sem Nome 8	2	2	2	3	2	2	1	1	1	2	21	M
7	Rio das Antas	3	3	3	1	3	4	2	1	3	1	24	A
3	Arroio Nhapindazal	3	3	3	2	4	3	1	1	3	2	25	A
4	Arroio dos Pereiras	2	2	2	2	3	3	1	4	4	2	25	A
1	Arroio Cascata	3	3	3	1	4	4	2	3	3	2	28	MA
6	Rio Bonito	4	4	4	1	2	4	3	2	3	1	28	MA

A = Área; P = Perímetro; Nc = Número de Canais; Ccp = Comprimento do canal principal; Aa = Amplitude altimétrica; Hf = Hierarquia fluvial; Dd = Densidade de drenagem; Is = Índice de sinuosidade; Ic = Índice de circularidade; Rr = Relação de relevo. Suscetibilidade morfométrica (SM): Baixa (B) = 15-18; Média (M) = 19-21; Alta (A) = 22-25; e Muito Alta (MA) = >26.

Figura 9 – Suscetibilidade morfométrica às inundações e enxurradas, Irati-PR



Um ponto interessante é que a Bacia Arroio da Cascata e Rio Bonito têm a maior e a menor amplitude altimétrica, respectivamente. Sendo assim, a Relação de relevo na Bacia Arroio Cascata foi classificada como média e a do Rio Bonito como baixa.

Quanto à distribuição espacial relacionada à classificação das bacias em relação à suscetibilidade morfométrica, é possível observar que as bacias classificadas com muito alta suscetibilidade ocupam a porção noroeste do alto curso do Rio das Antas.

As bacias com alta suscetibilidade estão localizadas na porção sudeste e as de baixa suscetibilidade próximas ao canal principal do Rio das Antas, sendo canais de 1ª ordem. A localização destas bacias está relacionada com as formas de relevo do alto curso do Rio das Antas.

A Bacia do Arroio dos Pereiras foi classificada com alta suscetibilidade morfométrica às inundações e enxurradas, e, no entanto, pela metodologia adotada outras bacias apresentam características muito altas de suscetibilidade. A Bacia Arroio dos Pereiras foi adotada como área de estudos, nesta pesquisa, por ser a mais urbanizada o que, conseqüentemente, faz com que os episódios de inundações e enxurradas tenham sido mais frequentes.

Na abordagem das condições climáticas busca-se entender as causas das precipitações intensas, caso tenham ocorrido, sendo adotada a Análise Rítmica, proposta por Monteiro (1971), que visa mostrar de forma individual os tipos de tempo atmosféricos e assim acompanhar seus ritmos juntamente com o acompanhamento das medidas observadas por uma estação meteorológica.

A adoção desta metodologia da Análise Rítmica auxilia no entendimento da variabilidade dos elementos climáticos e a relacioná-los entre si. Para apresentar a análise rítmica, nesta tese, são utilizados dados climáticos, de pressão atmosférica, pluviosidade, umidade relativa do ar, direção dos ventos, nebulosidade, disponibilizados por exemplo, pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Para a interpretação das massas de ar e frentes são adotadas as cartas sinóticas geradas pela Marinha do Brasil e disponibilizadas em seu *web site* (<http://www.mar.mil.br/>). Os gráficos dos elementos climáticos necessários à análise rítmica podem ser gerados por meio do *software* RítmicaAnálise (BORSATO, 2006; BORSATO e BORSATO, 2008).

Outro fator a ser analisado, levando em conta as condições climáticas, é o balanço hídrico da área de estudos. O método adotado é o de Thornwaite e Mather (1955) cuja entrada e análise de dados são realizadas em planilha Excel elaborada por Rolim *et al* (1998) para tal finalidade.

Após análise qualitativa deve ser realizada a classificação qualitativa para o estabelecimento de classes para o Balanço Hídrico, a exemplo daquela realizada por Carvalho e Stipp (2004) para o estado do Paraná. Para as autoras o balanço hídrico é uma das formas de monitoramento da variação do armazenamento de água no solo. Estas informações se tornam importantes em relação à capacidade de

armazenamento de água no solo, aumento do nível do lençol freático e a influência no escoamento superficial, condições as quais podem causar inundações e enxurradas.

O mapa de hipsometria deve ser elaborado tendo como base as curvas de nível, preferencialmente com equidistância de 20m, o que permite a compreensão do arranjo topográfico da área analisada. O mapa de declividade possibilita a identificação de áreas mais íngremes o que intensifica a velocidade e o fluxo de água e áreas mais planas onde a água poderá ficar acumulada.

A representação gráfica da espacialização das unidades geológicas existentes na área de estudo possibilita apontar áreas onde a infiltração da água pode ser dificultada ou facilitada. Além disso, a identificação dos tipos de solo, quanto à quantidade de argila e areia em sua composição, também influencia na quantidade de água que infiltra. Solos com maior quantidade de argila serão mais impermeáveis e solos com maior quantidade de areia serão mais permeáveis.

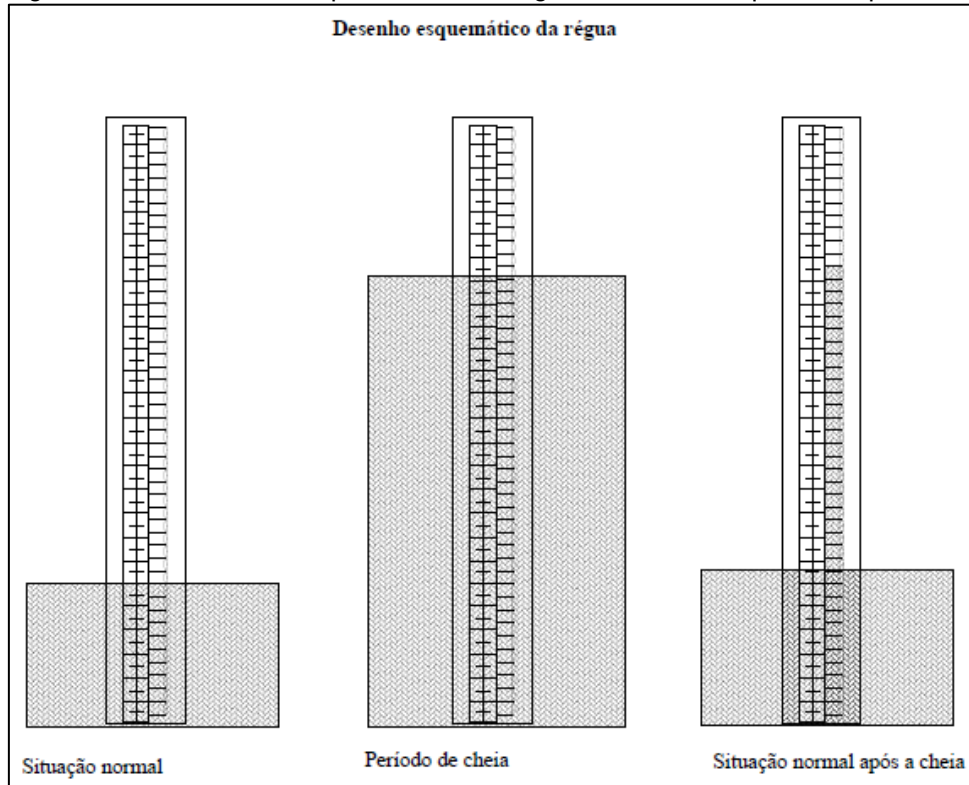
Para a coleta de dados referentes às vazões foram utilizadas réguas fluviométricas instaladas em pontos estratégicos, como, o limite da área rural com a urbana e na foz do rio, podendo assim, verificar a influência da urbanização na vazão do mesmo. A régua fluviométrica de máximas (Figura 10) consiste em um equipamento confeccionado em madeira com um dispositivo de coleta de água de um centímetro de diâmetro, fixados na diagonal e uma trena acoplada que determina o nível máximo atingido pela água. Essa régua é protegida por uma caixa de madeira com tampa removível na extremidade superior e tem orifícios laterais que permitem a passagem da água garantindo a identificação do nível máximo atingido (ANTONELI e DOUHI, 2010).

O registro da cota máxima do canal fluvial ocorreu com o auxílio de receptáculos formados por segmentos de mangueira de 2cm de comprimento por 1cm de diâmetro fixados na régua graduada. Nestes receptáculos a água fica acumulada indicando o nível máximo alcançado. Na figura 11 observa-se a confecção das réguas utilizadas no registro da cota máxima do canal fluvial.

A vazão do Arroio dos Pereiras foi monitorada e analisada entre os dias 01 de agosto de 2015 a 31 de julho de 2016. Os dados registrados pelas réguas, ou seja, da altura da água no canal fluvial, foram coletados após cada evento chuvoso, nos dias 01, 19 e 28 de agosto, 04, 11 e 19 de setembro, 04, 13, 18 e 28 de outubro, 06, 14, 20 e 30 de novembro, 12, 16 e 21 de dezembro, 04, 12, 28 de janeiro, 04, 11,

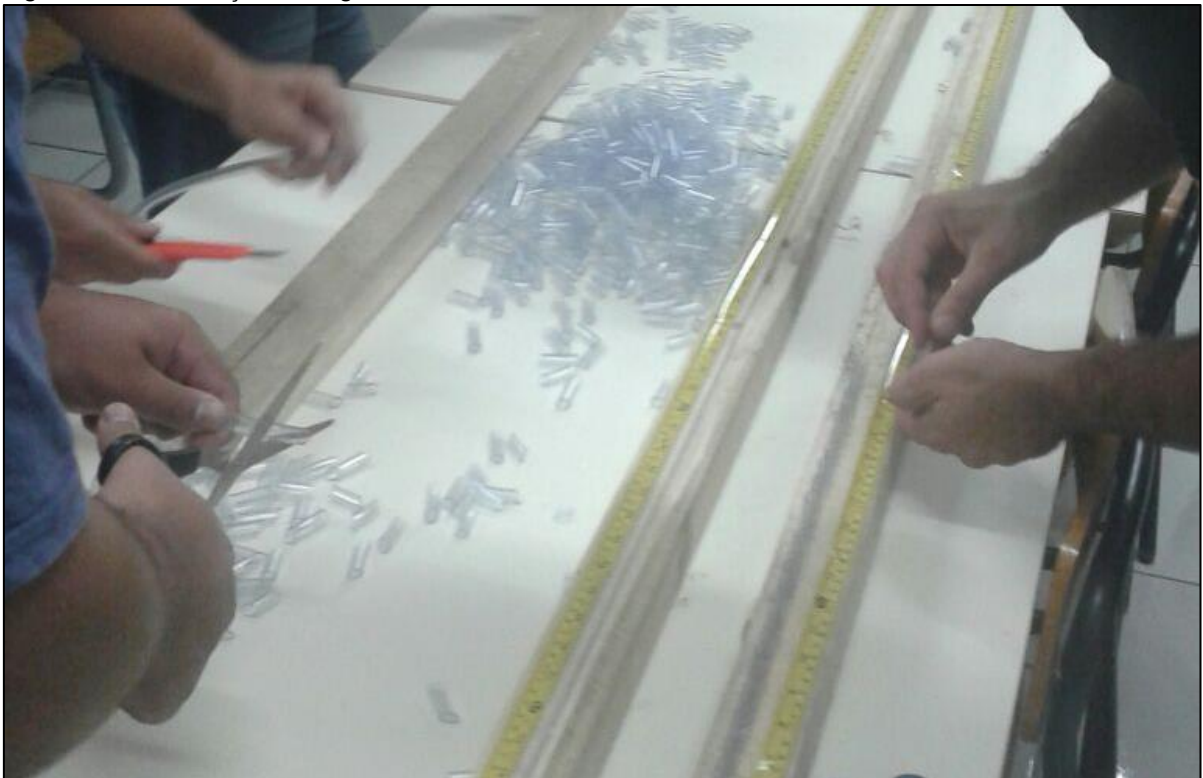
20 e 29 de fevereiro, 04, 10, 20 e 26 de março, 01, 16 e 27 de abril, 12 e 23 de maio, 02, 08 e 23 de junho, 07, 17 e 27 de julho.

Figura 10 – Modelo do comportamento da régua fluviométrica quanto ao pico de cheia em rios



Fonte: ANTONELI (2004)

Figura 11 – Confeccção da régua fluviométrica



Autor: VOISKI, 2015.

As coletas dos dados de vazão foram realizadas após cada evento chuvoso. Através desse método calcula-se a vazão de picos máximos, pois com os dispositivos fixados na régua são obtidos os valores dos níveis atingidos os quais associados às medidas da área molhada e velocidade de fluxo, permitem identificar os valores de altura da lâmina da água para cada evento chuvoso.

Para a medição da vazão adotou-se o método dos flutuadores conforme descrito em Camargo Filho *et al* (2009). Este método consiste em determinar a velocidade de deslocamento de um objeto flutuante medindo o tempo que ele leva para se deslocar em um trecho do canal fluvial. Para tanto, para a bacia em estudo, as áreas de medições consideraram a largura do canal e um trecho retilíneo do mesmo. Após o levantamento de informações da batimetria dos pontos de coleta os dados foram aplicados na Equação 1.

$$V = (AxLxC)/T \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: V = Vazão (m³/s)

A = Média da área do rio (distância entre as margens multiplicada pela profundidade do rio)

L = Comprimento da área de medição

C = Coeficiente ou fator de correção (0,8 para rios com fundo pedregoso ou 0,9 para rios com fundo barrento). Este coeficiente permite correção devido à água se deslocar mais rapidamente na superfície do que no fundo do rio.

T = Tempo que o flutuador levar para percorrer a seção (s).

A infiltração e a impermeabilização foram determinadas tendo como base os tipos de solos existentes e o uso do solo na bacia (MASCARÓ e YOSHINAGA, 2013, FERRAZ *et al*, 2007), conforme observado no Quadro 8.

A infiltração da água no solo deve ser monitorada, podendo ser empregada a metodologia adaptada por Antoneli e Thomaz (2009) de Leopold e Dume (1978) que consiste na instalação de dois anéis medidores de infiltração em diferentes tipos de cobertura de vegetação, baseadas em coletas de simulação de chuva e medições da capacidade de infiltração da água no solo. O monitoramento da infiltração da água no solo em diferentes usos na bacia foi realizado sazonalmente.

Para a análise das características hidrográficas foi realizada a morfometria da bacia estudada e consideradas as características físicas como a largura,

profundidade, vazão e velocidade em pontos onde existem as alterações causadas pelas atividades humanas (Quadro 9).

Quadro 8 – Modelo de comprometimento à infiltração da água em diferentes tipos de uso do solo no espaço urbano

Nível	Capacidade de Infiltração	Uso e ocupação
1	Mínima	Área urbana: residencial, industrial, uso misto, uso público, comércio e ruas
2	Baixa	Área urbana em expansão
3	Média	Vazio urbano e loteamento
4	Alta	Uso agrícola, vegetação rasteira, fundo de vale sem vegetação, praça não urbanizada, jardim de representação e verde viário
5	Máxima	Unidade de conservação, parque de bairro, fundo de vale com vegetação e vegetação arbórea arbustiva.

Fonte: Ferraz *et al* (2007, p. 115)

Org.: A autora.

Segundo Souza (2005) a mensuração do Coeficiente de Compacidade (K_c) e do Índice de Conformação ou fator de forma (K_f) são importantes para o entendimento da ocorrência de inundações e enxurradas. O K_c é calculado por meio de uma equação que relaciona o perímetro da bacia com o perímetro de um círculo com a mesma área. Quanto mais próximo de 1, mais a bacia apresenta formato arredondado e se aproxima da probabilidade de inundações e enxurradas. O K_f relaciona a forma da bacia com um retângulo, ou seja, a bacia apresenta um formato mais estreito ou longo possibilitando que seus tributários atinjam o canal principal e mais pontos. Se K_f for maior ou igual a 1 a bacia é mais vulnerável à inundações e enxurradas.

Na análise da dinâmica social na bacia foram considerados os aspectos históricos e de expansão urbana. Para tanto, foram elaborados cenários de uso do solo para diferentes períodos. Os mapas de uso do solo foram elaborados por meio da fotointerpretação de fotografias aéreas (1980) e segmentação e classificação das imagens Quickbird (2004) e Geoeye (2013) no sistema de informações geográficas e processamento de imagens SPRING, versão 5.4.3 (INPE/DPI, 1999). A finalização dos mapas foi realizada no Quantum Gis 3.2.0.

As imagens de satélite foram fornecidas pelo Laboratório de Gestão de Recursos Hídricos e Geoprocessamento do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Campus de Irati. A Imagem Quickbird apresenta resolução espacial de 0,60m e a Geoeye 0,50m.

Quadro 9 – Modelo síntese das características morfométricas de bacias hidrográficas

Tipo de Análise	Descrição	Equação	Autor
Área total	Área drenada pelo sistema fluvial em um plano horizontal. A área de uma bacia pode ser relacionada com a quantidade de água precipitada em uma bacia, pois a vazão máxima de um canal diminuiu em intensidade conforme aumenta a área da bacia hidrográfica.	-	Christofolletti (1980)
Perímetro total	Comprimento de uma linha ao longo do divisor de água de uma bacia hidrográfica. O perímetro da bacia hidrográfica tem uma relação direta com a área e o número de canais de primeira ordem, pois quanto maior for o perímetro de uma bacia, maior será sua área e maior será o número de canais de primeira ordem.	-	Christofolletti (1980)
Número de canais	Trata-se do número total de canais de uma bacia hidrográfica. Estas características têm relações com o tamanho e a geologia da bacia analisada. Quanto mais tributários uma bacia hidrográfica possuir maior será o escoamento de um grande volume de água, o que pode dificultar o escoamento das águas em períodos de inundações e enxurradas.	-	Horton (1932)
Comprimento do canal principal	O comprimento do canal principal é a distância ao longo de um curso de água desde sua foz até uma de suas nascentes. Este parâmetro pode ser utilizado na estimativa do tempo de duração do pico de uma inundação ou enxurrada, pois ele tem relação com o tempo que as águas levam para percorrer a bacia desde suas nascentes até a foz. Quanto menor for o valor do comprimento do canal principal menor será a energia do fluxo de água.	-	Horton (1932)
Amplitude altimétrica	Variação entre a altitude máxima e a altitude mínima, definindo, assim, a velocidade do escoamento. Quanto maior for a amplitude altimétrica, mais rápido e intenso será o escoamento reduzindo o acúmulo de água no sistema. Quanto menor foi a amplitude altimétrica a bacia não apresentará grandes declividades, o que aumentará a infiltração e diminui o escoamento superficial. No entanto, os fluxos intensos podem potencializar os efeitos das inundações e enxurradas, principalmente em áreas mais baixas e planas.	$Aa = AM - Am$	Schumm (1956)
Hierarquia fluvial	Facilita e torna mais objetivo os estudos morfométricos (análises linear, areal e hipsométrica) das bacias hidrográficas. Isso é possível, pois, a hierarquia fluvial é o processo necessário à classificação de um curso de água, ou área drenada, a que ele pertence no conjunto total da bacia ao qual se encontra	-	Horton (1945)
Densidade de drenagem	Correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. Trata-se de um parâmetro fundamental na análise de bacias, pois representa a relação inversa com o comprimento dos rios. Quanto maior o valor numérico da densidade, menor será o tamanho dos componentes fluviais de uma bacia. A densidade de drenagem reflete a eficiência do sistema em remover o excesso de precipitação na bacia, pois ela pode informar o tempo que decorre entre a precipitação máxima da bacia e a vazão máxima do canal principal. As bacias com alta densidade de drenagem possuem rápida concentração de inundações e enxurradas, pois o escoamento superficial da bacia aumenta com a densidade de drenagem.	$Dd = \frac{L_t}{A}$	Horton (1945)
Índice de sinuosidade	Relaciona o comprimento vetorial do canal principal, o que permite identificar sua sinuosidade. Quanto menor for este parâmetro, maior será a velocidade do escoamento, aumentado as condições de ocorrências de inundações e enxurradas próximo à foz da bacia.	$Is = \frac{L}{Dv}$	Horton (1945)
Índice de circularidade	Relação da área da bacia com a área de um círculo de mesmo perímetro. Quanto mais circular for a bacia esta estará mais suscetível a inundações e enxurradas. O valor máximo a ser obtido é 1,0, e quanto maior for este valor mais circular é a bacia hidrográfica.	$Ic = \frac{A}{Ac}$	Horton (1945)
Declividade predominante	Refere-se à declividade mais significativa em área na bacia hidrográfica. Por meio do mapa de declividade é possível identificar quais as classes mais expressivas e onde estão distribuídas. Quanto maior for a declividade de uma bacia, maior será o escoamento superficial e com mais intensidade o fluxo de água chegará aos rios, propiciando assim, a ocorrência de inundações e enxurradas.	-	Christofolletti (1980)
Relação de relevo	É a relação entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento do canal principal da bacia. Conforme há o aumento da relação de relevo e maior é o gradiente dos canais, maior será o tempo de concentração do escoamento superficial, aumentando assim, a probabilidade de ocorrência de inundações e enxurradas	$Rr = \frac{Aa}{Cp}$	Schumm (1956)

Org.: A autora.

As imagens foram segmentadas e posteriormente foi adotada a classificação supervisionada para que os diferentes tipos de uso e cobertura da terra fossem identificados. Na segmentação das imagens foi adotada a operação por crescimento de regiões. Nas duas imagens foram adotados como parâmetros a similaridade 10 e área 50. A classificação supervisionada de ambas as imagens foi realizada por meio do algoritmo Battacharya.

Os diferentes cenários possibilitaram a observação da dinâmica de uso do solo na bacia estudada. As classes temáticas de uso do solo são adaptadas do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013) e do modelo proposto por Ferraz *et al* (2007) e Mascaró e Yoshinaga (2013), sendo definidas as seguintes: água, áreas gramadas, campestre, cultivo, edificações, lotes baldios, praças, vegetação arbórea, vias calçadas, vias não pavimentadas e vias pavimentadas. Estas classes foram adotadas para que os mapas de uso do solo apresentassem maior detalhe das informações, sendo pertinente para entender a dinâmica de impermeabilidade/infiltração da água no solo.

A classe Água considera áreas ocupadas por piscinas em residências e por açudes de criação de peixes.

Áreas Gramadas são ocupadas por campos de futebol com grama natural em espaços públicos ou privados, jardins residenciais e passeios gramados.

Na classe Campestre foram consideradas as áreas recobertas por vegetação não arbórea sendo utilizada em atividades de pastoreio de animais.

O Cultivo corresponde aos espaços ocupados por agricultura, seja permanente ou temporária e hortas urbanas.

Em Edificações são classificadas as estruturas urbanas, considerando residências, barracões, calçadas pavimentadas internas aos lotes urbanos e as que recobrem passeios.

Lotes baldios englobam os terrenos não edificadas em loteamentos antigos e novos.

A classe Praças corresponde aos espaços urbanos livres de edificações e que propiciam convivência e/ou recreação da população.

Como Vegetação arbórea são classificadas as áreas de reservas florestais urbanas e passeios arborizados.

As Vias calçadas correspondem as vias pavimentadas com paralelepípedos, blocos articulados e pedras irregulares.

Vias não pavimentadas são as vias sem pavimentação ou calçamento e estradas de terra.

As Vias pavimentadas representam as vias asfaltadas.

2.1 ÍNDICE DE ÁREAS POTENCIALIZADORAS DE INUNDAÇÕES E ENXURRADAS (IAPIE)

A proposta metodológica do IAPIE engloba informações quanto à precipitação, infiltração da água em diferentes usos, declividade, balanço hídrico, morfometria e tipos de solos, e tem como objetivo identificar quais as áreas de uma bacia hidrográfica urbana apresentam maior potencial para desencadear inundações e enxurradas em áreas a jusante.

A primeira etapa na aplicação da metodologia consiste em setorizar a bacia hidrográfica. Como a metodologia trata de análise de bacias hidrográficas urbanas, os setores adotados podem ser os bairros inseridos na área de estudo. Deve-se considerar que, quanto mais setores forem delimitados, maiores serão os detalhes fornecidos pelo IAPIE.

O parâmetro Precipitação (P) considera os valores de precipitação por meio da técnica de representação denominada Pluviograma, descrita em Zavattini e Boin (2013), que utiliza os totais mensais de chuva em um dado lugar no período de tempo escolhido. Além disso, serve para revelar os índices de participação percentual de cada mês, no total pluvial ao ano que pertence. Para tanto, deve ser feito o uso da regra de três simples e de intervalos de classes para que se tenha informações da variabilidade mensal dentro de um determinado ano, ou a variabilidade mensal e anual ao longo de um período maior de dados. Para a metodologia IAPIE deve ser considerada a variabilidade da precipitação no ano analisado. Na Tabela 3 são apresentados os valores da precipitação tendo como base as classes definidas por Zavattini e Boin (2013). Quanto maior for o índice P, maior a probabilidade de ocorrência de inundações e enxurradas.

Para definir o Parâmetro Infiltração da Água em diferentes usos (I) é necessário a elaboração do mapa de uso do solo detalhado da bacia hidrográfica, onde cada tipo de uso será classificado quanto à infiltração da água conforme o descrito no Quadro 10.

Tabela 3 – Precipitação para o IAPIE

Variabilidade da Precipitação	Índice	Níveis
0,0-1,9	P ₁	Muito abaixo do normal
2,0-3,9	P ₂	Abaixo do normal
4,0-8,2	P ₃	Normal
8,3-12,4	P ₄	Acima do normal
>12,5	P ₅	Muito acima do normal

Fonte: Adaptado de Zavattini e Boin (2013).
Org.: A autora.

Quadro 10 – Proposta de classificação da relação da capacidade de infiltração da água no solo e as características de uso e ocupação em bacias hidrográficas urbanas

Nível	Capacidade de Infiltração	Uso e ocupação
1	Mínima	Edificação muito densa (residencial, industrial, uso misto, uso público, comércio), pavimentação interna, calçadas e ruas pavimentadas.
2	Baixa	Edificação medianamente densa, normalmente partes adjacentes ao centro, com jardins privados e ruas calçadas e arborizadas.
3	Média	Edificação pouco densa, com recuos de jardins, jardins interiores, ruas calçadas e calçadas parcialmente gramadas.
4	Alta	Uso agrícola, vegetação rasteira, fundo de vale sem vegetação, praça arborizadas, verde viário, vazio urbano, loteamento, ruas sem pavimentação, ruas com bueiros e calçadas predominantemente gramadas.
5	Máxima	Unidade de conservação, reservas florestais urbanas, parques, fundo de vale com vegetação, campos de esportes e vegetação arbórea arbustiva.

Fonte: Adaptado de Ferraz *et al* (2007, p. 115) e Mascaró e Yoshinaga (2013, p. 95)
Org.: A autora.

Quanto maior for a impermeabilização do solo, ou seja, menor a infiltração da água, associado a declividade, a água poderá escoar mais rapidamente ou não, o que determinará a ocorrência de inundações e enxurradas (Tabela 4). As áreas de infiltração mínima são as correspondentes à área urbana, considerando áreas ocupadas por residências, indústrias, comércios e serviços onde há a impermeabilização do solo. As áreas em expansão urbana e loteamentos possibilitam uma taxa de infiltração média da água no solo. As áreas destinadas para uso agrícola, vegetação rasteira e jardins possibilitarão uma alta infiltração da água no solo e, as áreas com vegetação arbórea arbustiva propiciam máxima infiltração da água no solo.

O Parâmetro Declividade (D) possibilita a identificação de áreas com potencialidade de maior ou menor escoamento da água. Quanto maior a declividade, maior será o escoamento superficial da água na vertente da bacia e vice-versa.

Dependendo da condição a água será escoada diretamente ao canal fluvial, ou ser depositada em áreas mais baixas da bacia, gerando inundações e enxurradas. As classes de declividade adotadas são as determinadas por De Biasi (1996) para a declividade em áreas urbanas (Tabela 5). A definição das classes de declividade está embasada nas informações expostas no Quadro 11.

Tabela 4 – Infiltração da água em diferentes usos da terra para o IAPIE

Classes de Infiltração	Índice
Máxima	I ₁
Alta	I ₂
Média	I ₃
Baixa	I ₄
Mínima	I ₅

Tabela 5 – A declividade para o IAPIE

Declividade em %	Declividade em Graus	Classe	Índice
<12	<7,25	Muito Baixa	D ₁
12 – 30	7,25 – 17	Baixa	D ₂
30 – 47	17 – 25	Média	D ₃
47 – 100	25 – 45	Alta	D ₄
>100	> 45	Muito Alta	D ₅

Fonte: Adaptado de De Biasi (1996).

Org.: A Autora.

Quadro 11 – Legislações que embasam a definição de classes de declividade

Classes de Declividade	Legislação
12%	Define o limite máximo para o emprego da mecanização na agricultura
12 – 30%	A Lei Federal 6.766/79 (Parcelamento do Solo Urbano) limita em 30% de declividade a urbanização sem restrições
30 – 47%	A Lei Federal 4.771/65 (Código Florestal) limita em 47% de declividade o corte raso de vegetação
47 – 100%	O Código Florestal proíbe a derrubada de floresta sem um regime de utilização racional que vise a rendimentos permanentes
100%	O Código Florestal considera Área de Preservação Permanente, apenas sendo admitida a suspensão total ou parcial da vegetação com prévia autorização do Poder Público Federal, quando for necessária a execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social.

Fonte: Adaptado de De Biasi (1996, p. 47)

Org.: A autora.

O Parâmetro Balanço Hídrico (BH) adota a classificação qualitativa para o Estado do Paraná, elaborado por Carvalho e Stipp (2004). As autoras estabeleceram quatro classes para o Balanço Hídrico com valores médios anuais do excedente

hídrico (Tabela 6). Tendo como base a metodologia de Thornthwaite e Matter (1955) é possível calcular o balanço hídrico por setor. Neste sentido, é necessário classificar o resultado de cada setor no Estado onde a bacia hidrográfica está inserida.

Tabela 6 – Classificação Qualitativa dos Balanços Hídricos para o PR aplicado ao IAPIE

Balanço Hídrico	Qualificação do BH	Símbolo
Com deficiência hídrica, pelo menos em um mês/ano; com qualquer excedente hídrico	Baixo	BH ₁
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico até 798,26 mm/ano	Médio	BH ₂
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico entre 798,26 até 1596,52 mm/ano	Alto	BH ₃
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico superior a 1596,52 mm/ano	Muito alto	BH ₄

Fonte: Adaptado de Carvalho e Stipp (2004, p. 104).
Org.: A autora.

O Parâmetro Morfometria (SM) é determinado pela suscetibilidade morfométrica que as bacias hidrográficas apresentam quanto aos fenômenos de inundações e enxurradas. Os parâmetros morfométricos aplicados na metodologia são os que tem ligação direta com a ocorrência de inundações e enxurradas, sendo, área, perímetro, número de canais, comprimento do canal principal, altitude máxima, altitude mínima, hierarquia fluvial, densidade de drenagem, índice de sinuosidade, índice de circularidade, declividade predominante e relação de relevo.

Após a identificação e obtenção dos valores dos parâmetros morfométricos é necessário dividir a série dos dados em intervalos homogêneos de valores, tantos quanto o número de classes de suscetibilidade definidas. Para facilitar a classificação sugere-se que a cada classe de suscetibilidade seja atribuída um certo número de pontos, como, por exemplo, Alta (3 pontos), Média (2 pontos) e Baixa (1 ponto). Definida a pontuação, procede-se à somatória do número total de pontos para a bacia. Freitas, Santos e Carvalho (2016) definem as classes de suscetibilidade morfométrica a inundações e enxurradas para bacias hidrográficas conforme a Tabela 7.

O Parâmetro Solo (S) é determinado conforme a Tabela 8 seguindo a classificação descrita em Canholi (2005). Dependendo da característica do solo, como a profundidade, por exemplo, haverá a interferência na quantidade de água

que infiltrará ou será escoada superficialmente. Solos mais profundos tem capacidade maior de reter água e propiciar a infiltração, pois demoram mais para ficarem saturados e o contrário ocorre com solos mais rasos.

Tabela 7 – Suscetibilidade Morfométrica a Inundações e Enxurradas no IAPIE

Suscetibilidade Morfométrica	Valor	Símbolo
Baixa	15 – 18	SM ₁
Média	19 – 21	SM ₂
Alta	22 – 25	SM ₃
Muito Alta	>26	SM ₄

Fonte: Adaptado de Freitas, Santos e Carvalho (2016)
Org.: A autora.

Tabela 8 – O solo no IAPIE

Descrição do solo	Capacidade de Infiltração (cm/h)	Classe	Índice
Areias e cascalhos profundos (h>1,50 m), muito permeáveis, com alta taxa de infiltração, mesmo quando saturados. Teor de argila de até 10%	1,20 – 0,80	Muito Alta	S ₁
Solos arenosos e menos profundos (h<1,50 m) e permeáveis. Teor de argila de 10 a 20%	0,80 – 0,40	Alta	S ₂
Solos pouco profundos com camadas subsuperficiais que impedem o fluxo descendente da água, ou solos com porcentagem elevada de argila (20 a 30%)	0,40 – 0,15	Média	S ₃
Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas argilosas próximas à superfície, ou solos rasos sobre camadas impermeáveis	0,15 – 0,00	Baixa	S ₄

Fonte: Adaptado de Canholi (2005, p. 90)
A autora.

Após a obtenção dos valores dos parâmetros, adota-se a equação 2:

$$IAPIE = P_a + I_b + D_c + BH_d + SM_e + S_f \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

IAPIE: Índice de Áreas Potencializadoras de Inundações e Enxurradas.

P: Precipitação, onde “a” é o índice específico do parâmetro, que varia de 1 (Muito abaixo do normal) e 5 (Muito acima do normal).

I: Infiltração da água pelo tipo de uso do solo, onde “b” é o índice específico

do parâmetro, que varia de 1 (Máxima) a 5 (Mínima).

D: Declividade, onde “c” é o índice específico do parâmetro que varia de 1 (Muito Baixa) a 5 (Muito Alta).

BH: Balanço Hídrico, onde “d” é o índice específico do parâmetro que varia de 1 (Baixo) a 4 (Muito alto).

SM: Suscetibilidade Morfométrica, onde “e” é o índice específico do parâmetro que varia de 1 (Baixa) a 4 (Muito alta).

S: Tipo de solo, onde “f” é o índice específico do parâmetro onde a permeabilidade da água no solo varia de 1 (Muito alta) a 4 (Baixa).

A equação deverá ser calculada para cada setor, onde serão obtidos os valores finais, através da soma dos valores mínimos dos parâmetros que representam o baixo potencial de intensificação de inundações e enxurradas e os valores máximos, que representam os setores que potencializam as inundações e enxurradas.

De acordo com as classificações dos parâmetros, o valor mínimo possível a ser obtido no IAPIE é 6 (somatório de todos os índices iguais a 1), o que representa os setores que menos potencializam as inundações e enxurradas. O valor máximo a ser obtido é 27 (somatória de todos os índices com valores máximos) o que representa os setores que mais potencializam inundações e enxurradas.

Com a obtenção dos valores mínimos e máximos, têm-se o ângulo de inclinação da reta (equação da reta). Quando os valores são plotados no eixo “x” e traçam-se as perpendiculares até a reta, obtêm-se, nas ordenadas, as unidades potencializadoras de inundações e enxurradas. Com a equação da reta $y = ax + b$, obtém-se, o resultado com maior precisão.

Os resultados obtidos por meio da adoção da equação possibilitarão a classificação dos setores da bacia hidrográfica conforme o exposto na Tabela 9.

Tabela 9 – Classes do IAPIE

Classes do IAPIE	Valores em %
Setor com potencial Muito Baixo	0 - 20
Setor com potencial Baixo	21 - 40
Setor com potencial Médio	41 - 60
Setor com potencial Alto	61 - 80
Setor com potencial Muito Alto	81 - 100

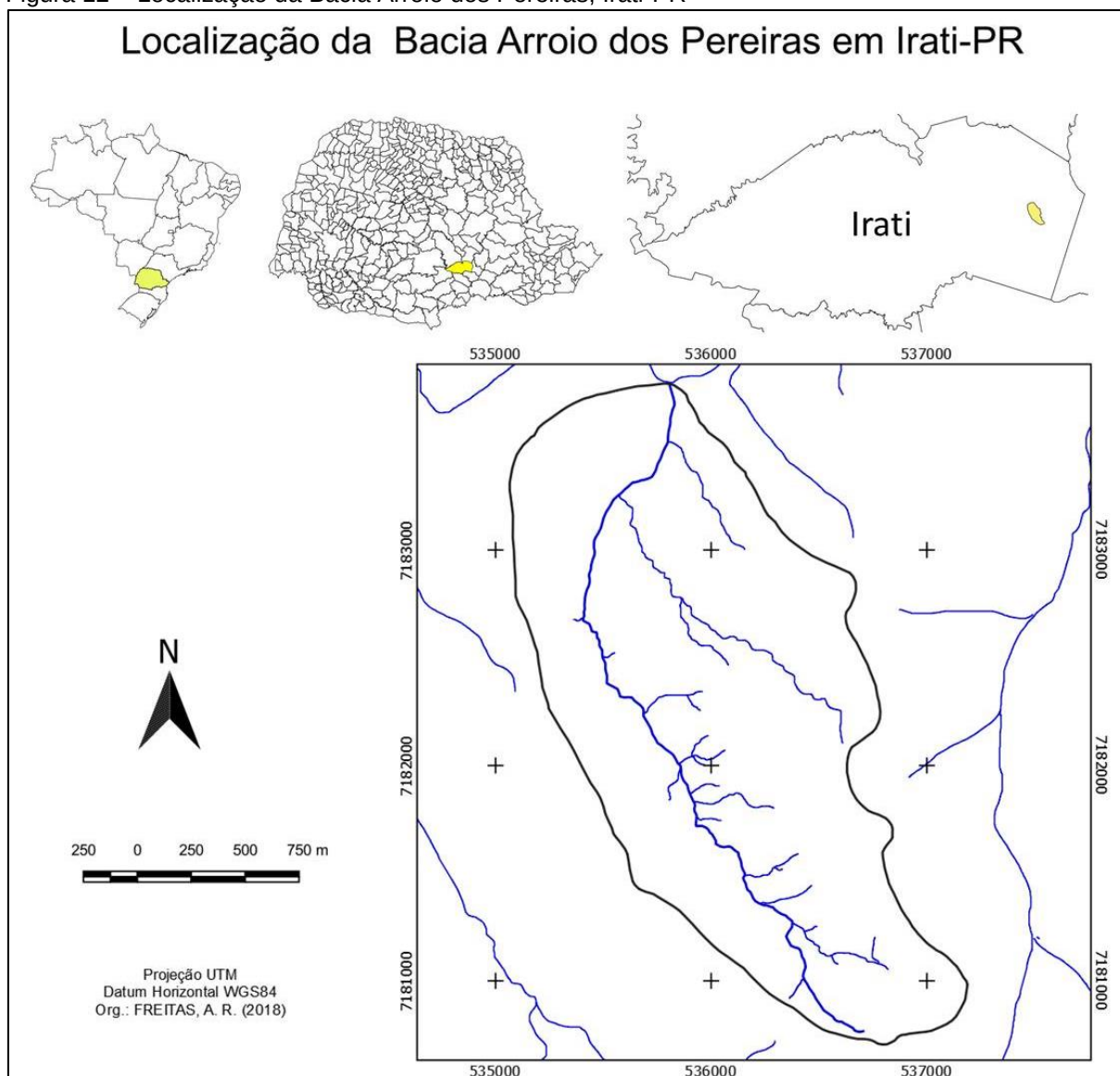
Por meio das informações dos fatores naturais e artificiais, a metodologia proposta permite identificar e classificar as áreas que mais influenciam na ocorrência de inundações e enxurradas em bacias hidrográficas urbanas em período cronológico ou mais. Além de identificar estas áreas em apenas uma bacia é possível realizar a comparação entre duas bacias ou mais em diversos recortes temporais.

CAPÍTULO III

A BACIA HIDROGRÁFICA ARROIO DOS PEREIRAS

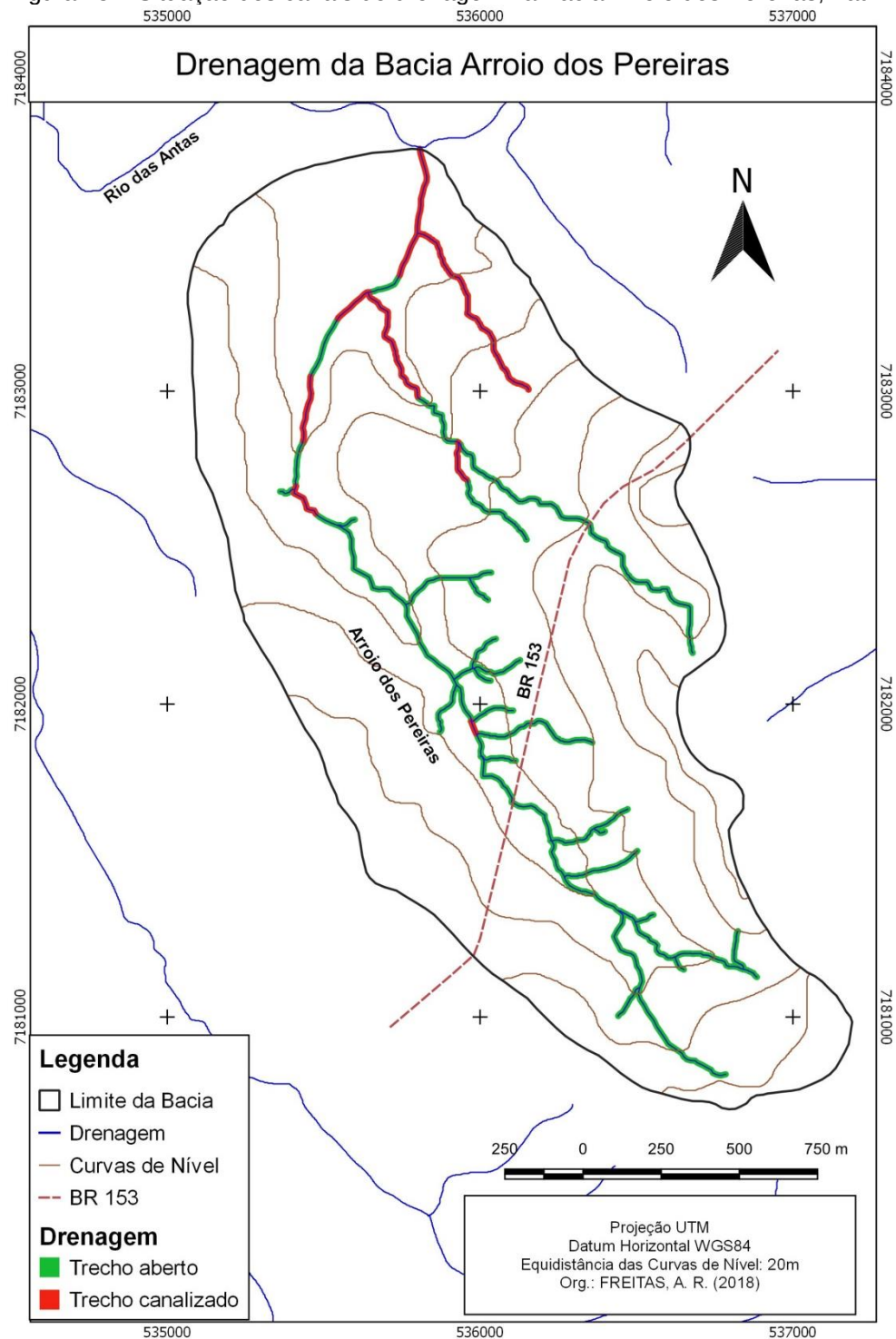
Neste capítulo são apresentadas as principais características da área de estudo, a qual compreende a Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, localizada no Município de Irati-PR (Figura 12) que conta com uma área de 354,66ha, formada por 27 canais e configura-se como uma bacia de 3ª ordem. Trata-se de uma das sub-bacias do Rio das Antas localizado nos Municípios de Irati, Fernandes Pinheiro e Imbituva.

Figura 12 – Localização da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR



A bacia Arroio dos Pereiras têm suas nascentes fora do perímetro urbano de Irati, no entanto, existem pontos onde há inundações quando a precipitação é de longa duração e intensidade, ocorrendo tanto no inverno quanto no verão. Os cursos hídricos localizados no Centro de Irati estão canalizados (Figura 13), ou foram retelinizados e a Prefeitura Municipal faz dragagem e limpeza dos rios em pontos específicos para evitar que as inundações ocorram.

Figura 13 – Situação dos canais de drenagem na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR



No documento do Plano Diretor desenvolvido em 2016, é apresentada a caracterização física do Município de Irati e há a referência de riscos à inundações e enchentes, mas não são apresentadas reflexões e soluções para tais condições. Desde o ano de 2015 está sendo elaborado o Plano de Drenagem Urbana do Município de Irati.

3.1 ASPECTOS SOCIOESPACIAIS

Devido à Guerra do Paraguai (1864-1870) e ao recrutamento da Guarda Nacional, diversas famílias fugiram para a região do atual Município de Irati em 1865 e deram origem ao povoado de Covázinho ou Covalzinho. Em 1899, o coronel Francisco de Paulo Pires e o Sr. Emílio Batista Gomes adquiriram terras na localidade dando origem a futura cidade de Irati. Anterior a isto, as terras de Irati eram ocupadas por índios Iratins, ramo dos Tupis (IRATI, 2010).

Naquela época a região pertencia ao Município de Santo Antonio de Imbituva, mais tarde Imbituva. O primeiro projeto da localização de Irati era o da Vila de São João, hoje denominado de Irati Velho, situada em lugar alto e plano e com a aspiração de ser futuramente servida pelos trilhos da Estrada de Ferro São Paulo-Rio Grande do Sul. No entanto, isto não se concretizou e a ferrovia foi desviada da vila, marginando as colinas, sendo assim, inaugurada a Estação Ferroviária e Telegráfica Irati (Figura 14), ocupando áreas do atual centro da cidade (IRATI, 2010).

Por meio da Lei Estadual nº 716 de 02 de abril de 1907, Irati foi elevado à Município e a solenidade de instalação do Município realizou-se em 15 de julho do mesmo ano. A partir do ano seguinte, com o auxílio e cooperação do Governo Federal, foi fundado o Núcleo Colonial de Gonçalves Júnior a 18km da Estação Ferroviária de Irati para ser ocupado por colonos alemães e holandeses. Assim, chegaram a Irati seis famílias alemãs e quatro holandesas, as quais ajudaram a movimentar a economia local (IRATI, 2010).

Segundo Orreda (1974) Irati se configurou como espaço para a criação de colônias federais, pois possuía grande área constituída de mata virgem e não existiam muitas pessoas na sede de Irati, logo, era importante atrair pessoas para ocupar a área. Os núcleos coloniais eram constituídos por pequenas propriedades associados à baixa fertilidade do solo, relevo montanhoso e à precariedade das

ligações com a sede municipal. As comunidades foram impostas às dificuldades para sobreviver em áreas afastadas, isolamento e falta de mercado para seus produtos. Devido às condições impostas muitos colonos deixaram Irati ou mudaram-se para a sede do município (IRATI, 2010).

Figura 14 – Estação Ferroviária em 1899 – Irati-PR



Fonte: Irati (2010)

Os núcleos coloniais formados por esses migrantes eram constituídos por pequenas propriedades e tal fato, associado à baixa fertilidade do solo, ao relevo montanhoso do Município e à precariedade das ligações com a sede municipal, impuseram a essas comunidades enormes dificuldades para conseguir sobreviver no sertão, em meio a endemias, isolamento e falta de mercado para seus produtos. Em virtude desses obstáculos, muitos colonos deixaram Irati, ou mudaram-se para a sua sede municipal, enquanto dentre aqueles que decidiram permanecer, poucos conseguiram realizar o sonho de enriquecer na nova terra que haviam escolhido para viver.

Entre os anos 1970 e 2000 a população urbana de Irati aumentou, o que no âmbito municipal, compensou o decréscimo da população rural, havendo a

expansão da população total em 9,4% (IRATI, 2010). Desde a década de 1970 a população rural vem diminuindo, variando de -6,1% entre 1970 a 1980, de -14,8% na década seguinte, -21,3% entre 1991 e 2000, e entre 2001 e 2010 a variação foi de -13,57 (Tabela 10).

Tabela 10 – Evolução demográfica de 1970 a 2010, Irati-PR

			População		
			Urbana	Rural	Total
Anos	1970	Hab.	15.827	20.705	36.532
		%	43,3	56,7	100
	1980	Hab.	22.781	19.446	42.227
		%	53,9	46,1	100,0
		Δ%	43,9	-6,1	15,6
	1991	Hab.	31.278	16.576	47.854
		%	65,4	34,6	100,0
		Δ%	35,5	-14,8	13,3
	2000	Hab.	39.306	13.046	52.352
		%	75,1	24,9	100,0
		Δ%	25,7	-21,3	9,4
	2010	Hab.	44.932	11.275	56.207
		%	79,94	20,06	100,0
		Δ%	14,31	-13,57	7,36

Fonte: IBGE, Censos Demográficos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.

Org.: A autora.

A população urbana aumentou devido à migração da população rural para a sede do município e pela atração de migrantes por conta do aumento da oferta de emprego induzida pela instalação de indústrias, estabelecimentos de comércio e serviços na área urbana de Irati.

Na transição do século XIX para o século XX, o Município de Irati esteve ligado a dois ciclos econômicos: o da erva-mate e da madeira. A produção da erva-mate apresentou declínio depois de 1928 quando a Argentina (principal mercado da erva-mate) começou a ser abastecida por sua própria produção. A partir de 1930 as serrarias começaram a atuar em Irati às margens da ferrovia. Com o uso de caminhões, a exploração de pinheirais mais afastados da ferrovia, aumentou o potencial produtivo da região. Com o início da Segunda Guerra Mundial houve um novo impulso à comercialização da madeira. Nesta condição, Irati passou a ser, nas décadas de 1940 e 1950, um dos maiores centros de produção e comercialização da madeira no Brasil (IRATI, 2010).

A partir de 1925 tem início o plantio da batata inglesa no município, cuja atividade tomou corpo e se transformou em um dos esteios da economia de Irati. No entanto, no final da década de 1940 entrou em crise e praticamente desapareceu

nos primeiros anos da década de 1950. Em 1935 teve início a produção de trigo que entrou em declínio, a partir de 1958, devido às condições desfavoráveis de relevo e fertilidade do solo que não suportaram a concorrência com outras regiões mais férteis e onde havia a condição de mecanização do plantio e da colheita. Na década de 1960 houve a busca de alternativas por meio do cultivo do feijão, milho, fumo e soja, além da implantação da pecuária leiteira (IRATI, 2010).

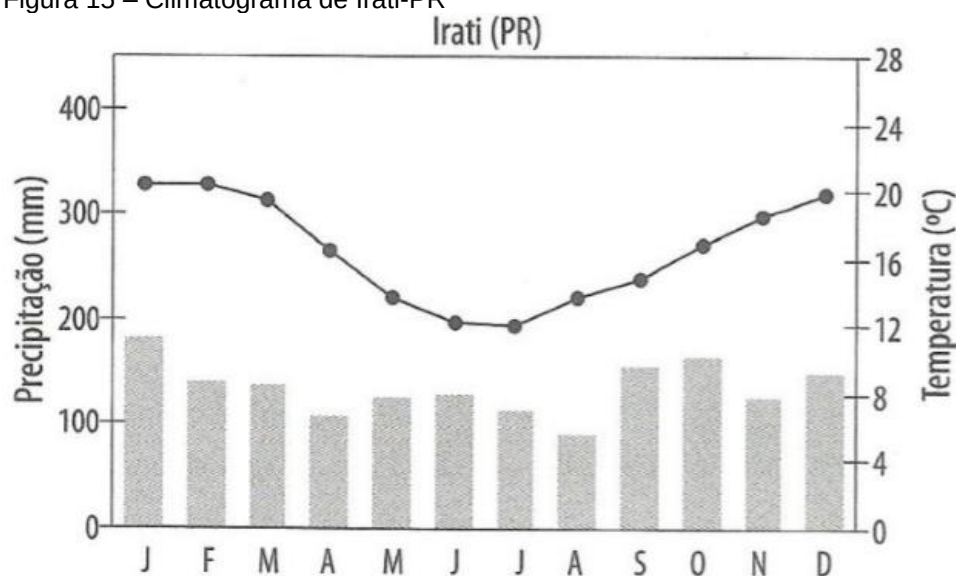
A Bacia Arroio dos Pereiras foi ocupada antes da emancipação de Irati. Em 1899, quando da criação da Estação Ferroviária Irati, houve a ocupação em áreas próximas à mesma, onde está localizado o centro da cidade de Irati, à jusante da bacia (ORREDA, 1972). Devido a estas condições a ocupação se deu de forma desordenada o que futuramente veio a gerar problemas ambientais, como, a ocupação das margens e planície de inundação do Arroio dos Pereiras e ocorrência de inundações e enxurradas.

A ocupação do Arroio dos Pereiras ocorreu em áreas mais planas localizadas próximas a foz da bacia. Conforme a cidade de Irati foi expandindo a ocupação foi acontecendo em direção à montante e, atualmente a ocupação da bacia por atividades urbanas ocorrem praticamente em toda a sua extensão. Os bairros inseridos na Bacia Arroio dos Pereiras, são: Alto da Glória, Centro, Jardim Califórnia, Stroparo e Vila São João. O Alto curso da bacia encontra-se fora do perímetro urbano, no entanto, apresenta-se como Zona de Expansão conforme a atualização do Plano Diretor em 2016.

3.2 ASPECTOS FÍSICOS

Segundo a Classificação Climática de Arthur Strahler, na Bacia Arroio dos Pereiras atua o clima Subtropical Úmido, cujo controle é determinado pelas Massas Tropicais Atlântica (MTA) e Continental (MTC) e pela Massa Polar Atlântica (MPA). A Massa Equatorial Continental também atua na região da Bacia analisada na estação do verão. Durante o ano todo, nesta área, ocorre a atuação de sistemas frontais, sobretudo nas estações da primavera, outono e inverno. As médias de temperatura máxima e mínima registradas em Irati são de 22,9 e 12,5°C, respectivamente. Quanto à precipitação, segundo MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007, esta ocorre com regularidade, cuja média anual é de 1618,6mm (Figura 15).

Figura 15 – Climatograma de Irati-PR



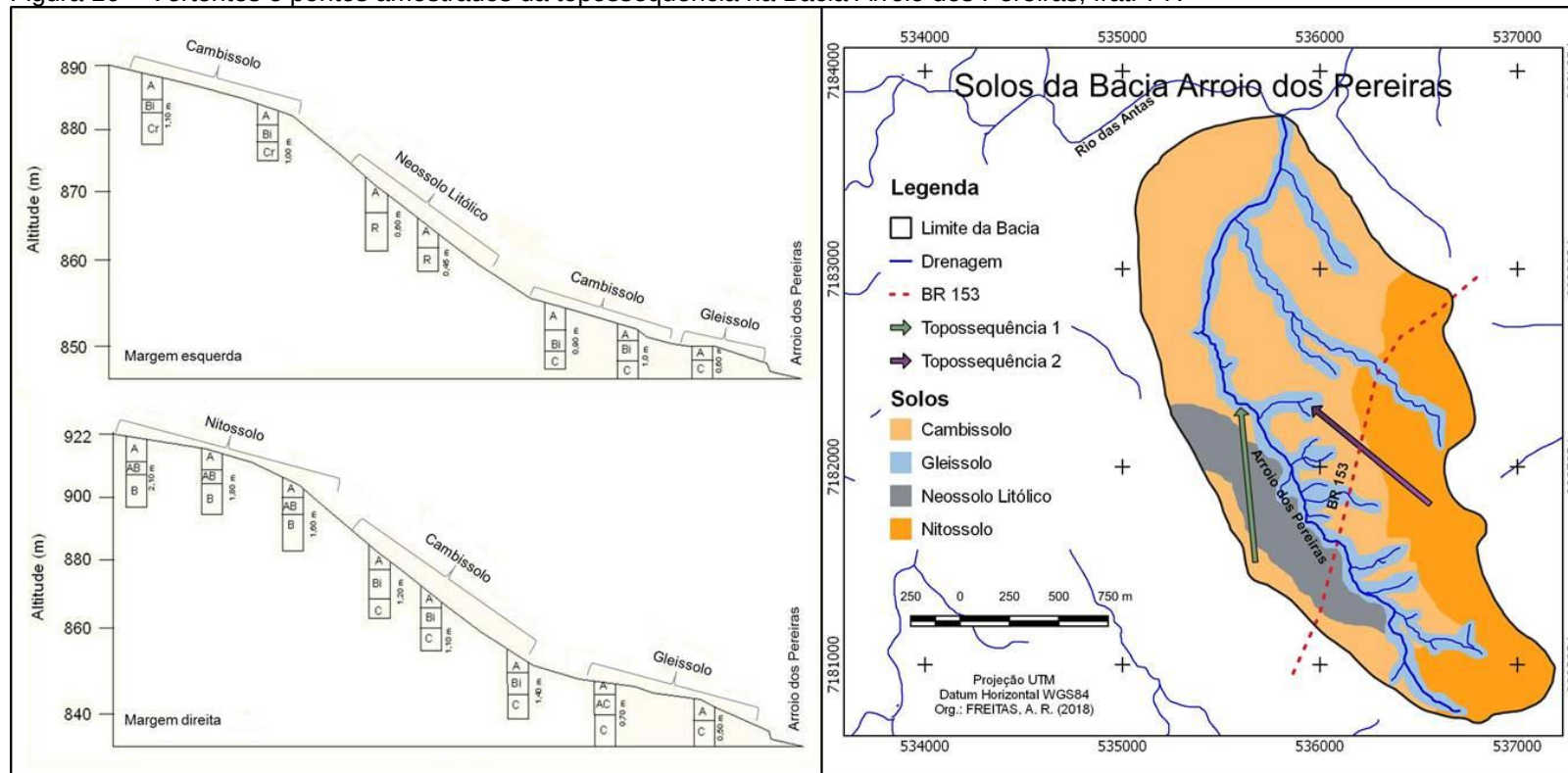
Fonte: Mendonça e Danni-Oliveira (2007)

Os solos do Município de Irati são predominantemente os Cambissolos, Neossolos e Gleissolos. No entanto, outros tipos de solos são encontrados como os Argissolos, Cambissolos Distróficos, Gleissolos, Latossolos Vermelho-Escuros e Litossolos (PMI, 2006). Na bacia Arroio dos Pereiras são encontrados Cambissolos, Gleissolos, Neossolos Litólicos e Nitossolos (Figura 16).

Os cambissolos são originados de rochas pelíticas e são instáveis pelo fato de serem pouco espessos com baixa permeabilidade, pobreza acentuada em nutrientes e encrostamento na superfície, apresentando pouca cobertura vegetal (SERAFIM *et al*, 2013). O cambissolo faz parte do grupo de solos anteriormente denominado solos litólicos, pois trata-se de um solo “jovem” com textura média e presença de cascalho e silte. Este tipo de solo requer alguns cuidados, como manejo constante para evitar a erosão. Na Bacia Arroio dos Pereiras estes tipos de solos estão distribuídos por toda a área da bacia, principalmente no baixo curso, onde o processo de urbanização já está consolidado.

Os gleissolos são hidromórficos, pois encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água. A água presente no solo pode se elevar por capilaridade atingindo a superfície do solo. (EMBRAPA, 2006). As limitações deste tipo de solo são a frequência com que são inundados e o período longo que ficam saturados, devido as cheias dos cursos d'água ou a elevação do nível do lençol freático, sendo encontrados em áreas de várzea da Bacia Arroio dos Pereiras.

Figura 16 – Vertentes e pontos amostrados da topossequência na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Cambissolo



Gleissolo



Nitossolo



Neossolo Litólico

Os neossolos litólicos apresentam contato lítico e são constituídos por fragmentos de rochas a menos de 50cm de profundidade (MARQUES *et al*, 2007). São solos em formação devido à reduzida atuação de processos pedogenéticos ou devido às características do material que os origina (EMBRAPA, 2006). Uma de suas características é a baixa retenção de água e elevada suscetibilidade à inundação. Devido a estas condições, apresentam restrição ao uso agrícola, pois requerem adubação, correção da acidez, cuidados com a erosão e, dependendo das condições, precisam de irrigação. Na Bacia Arroio dos Pereiras estes solos encontram-se na porção sudoeste, sendo os menos expressivos na área de estudo.

Os nitossolos são solos profundos, homogêneos, bem drenados e constituídos por material mineral, com horizonte B nítico. Neste horizonte são encontradas argilas de atividade baixa, textura argilosa a muito argilosa (COOPER e VIDAL-TORRADO, 2005). Como são solos argilosos, favorecem a retenção da água, mas mantêm boa drenagem, sendo estas características excelentes em condições sazonais. Além disso, apresentam boa fertilidade e elevada capacidade de água disponível, com grande potencial para uso agrícola. Na Bacia Arroio dos Pereiras os nitossolos ocorrem no alto curso, onde o processo de urbanização não se consolidou. São áreas utilizadas para a produção agrícola e, que devido ao Plano Diretor, serão destinadas à Zona de Expansão.

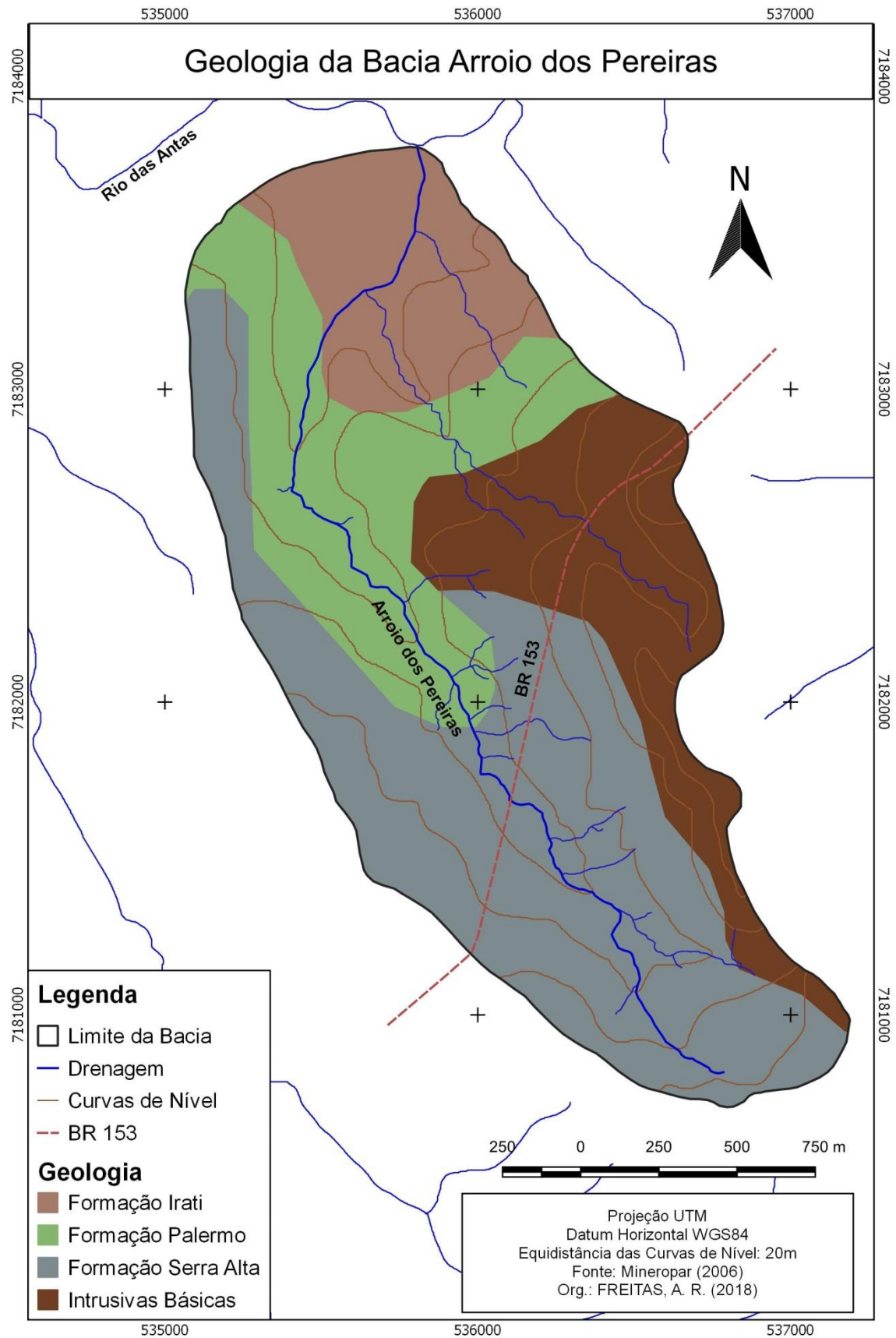
A geologia de Irati corresponde às formações Irati e Serra Alta (Permiano Médio a Superior), Palermo (Permiano Médio) e de rochas Intrusivas Básicas (Jurássico – Cretáceo) (Figura 17). Na Bacia Arroio dos Pereiras há a predominância de folhelhos. Este tipo de formação geológica apresenta baixa permeabilidade, sendo um dos condicionantes na ocorrência de inundações na bacia estudada.

A permeabilidade das rochas depende diretamente da porosidade das mesmas, ou seja, da quantidade de poros vazios em relação ao volume total da rocha. Depósitos de cascalhos, areia, silte e argila apresentam porosidades maiores do que a rocha consolidada (arenito, calcário e rochas fraturadas). Segundo Fetter (1994) o folhelho apresenta porosidade de no máximo 10% (Quadro 12).

Quanto à hipsometria da Bacia Arroio dos Pereiras, a variação de altitude é de 820 a 920m, ou seja, o desnível de 100m. Por meio do mapa hipsométrico (Figura 18) observa-se a área próxima à foz trata-se de uma planície de inundação, onde ocorrem os processos de inundações e enxurradas, onde a urbanização é mais expressiva. O alto curso, determinado pelo Plano Diretor de 2016, será ocupado por

edificações, pois é categorizado como Zona de Expansão.

Figura 17 – Geologia da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR

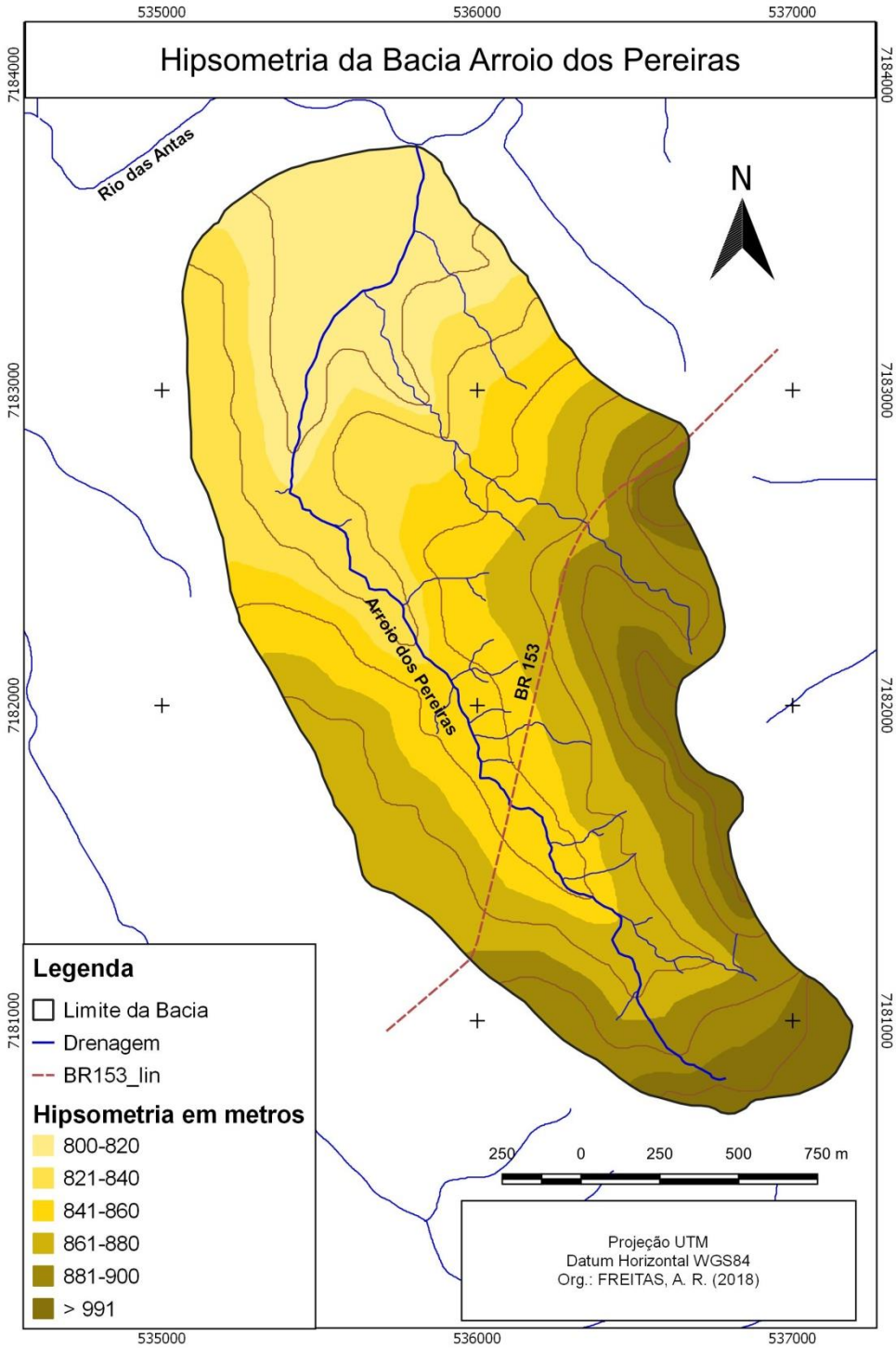


Quadro 12 – Posoridade de rochas sedimentares

Rochas sedimentares	Porosidade total (%)
Folhelho	0 – 10
Calcário Cárstico	0 – 40
Calcário/Dolomito	0 – 40
Arenito	5 – 30
Siltito	21 – 41

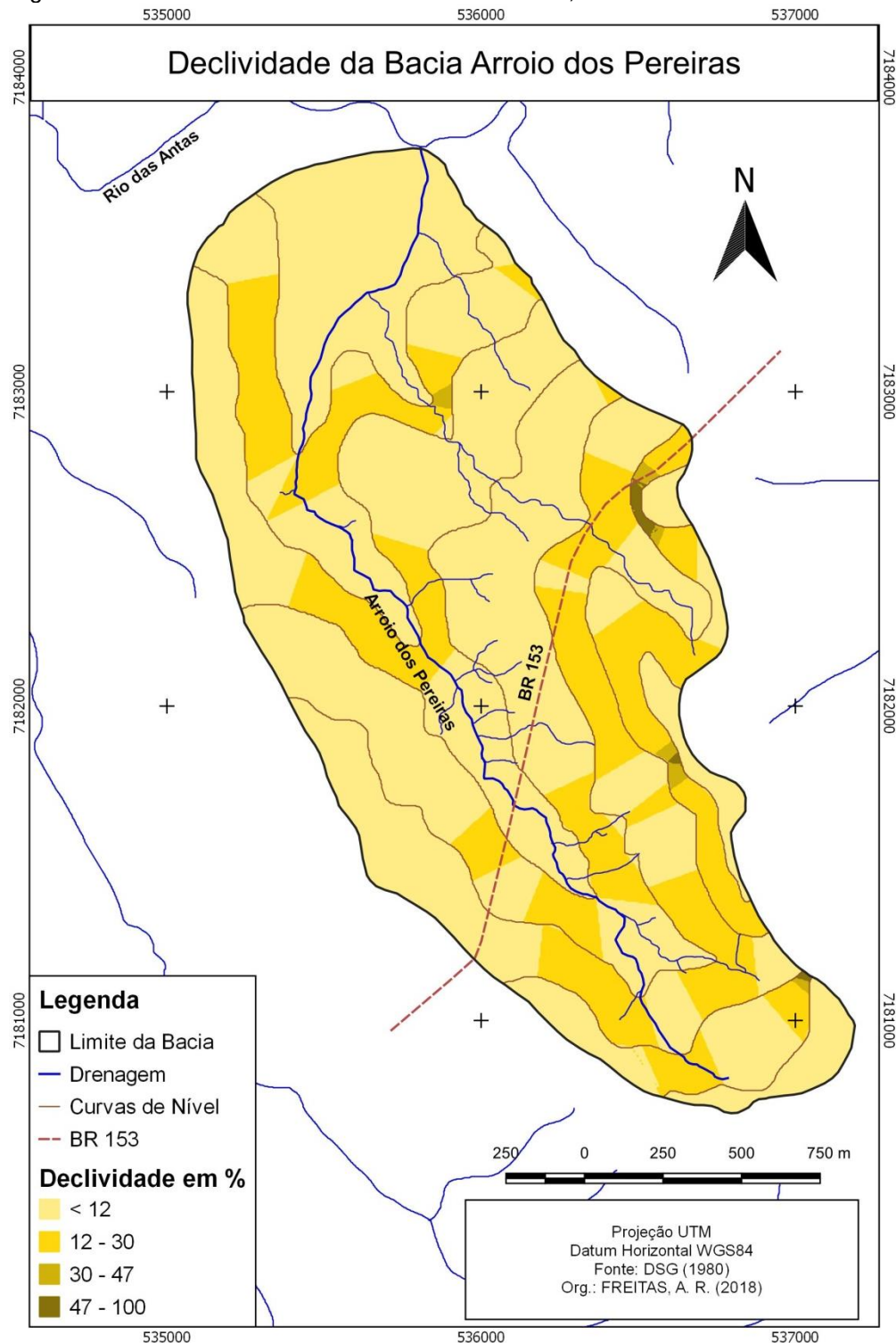
Fonte: Fetter (1994, p. 76).
Org. A autora.

Figura 18 – Hipsometria da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR



A declividade predominante na Bacia Arroio dos Pereiras é a de 0 a 12% distribuída por toda a área de estudos. Em segundo aparece a classe de 12 a 30% ocorrendo em porções mais elevadas e do médio curso da bacia. As classes 30 a 47% e de 47 a 100% são menos expressivas, ocorrendo em porções leste e nordeste da bacia do Arroio dos Pereiras (Figura 19).

Figura 19 – Declividade da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Em relação ao uso do solo, o que predomina na Bacia Arroio dos Pereiras é o uso urbano com ocupações irregulares e impermeabilização do solo, no entanto, próximo às nascentes, encontram-se as classes de uso cultivo, pastagem e floresta.

3.3 INUNDAÇÕES E ENXURRADAS

A ocorrência de inundações e enxurradas em Irati data desde a década de 1940. Na Bacia do Arroio dos Pereiras os desastres já aconteciam desde essa época e afetavam as pessoas que residiam no Centro de Irati (Figura 20). No entanto, os registros da Defesa Civil ocorrem a partir de 1980.

Figura 20 – Inundação na área central em 1940, Irati-PR



Fonte: Araújo (2016).

Segundo a Defesa Civil (Tabela 11) no dia 01 de julho de 1983 ocorreu um evento extremo configurado como inundação. Nos relatórios da época não constam quantas pessoas foram atingidas. No ano de 1983 o Paraná e toda a região sul do país foram afetados por chuvas que se intensificaram no mês de julho, mas estas precipitações já eram significativas desde o mês de maio do corrente ano.

A enchente registrada pela Defesa Civil no dia 29 de maio de 1992 foi o

resultado de 269,7mm de precipitação acumulada. Em apenas 24h o total precipitado foi de 132,8mm. Na ocasião 268 casas foram afetadas, sendo que destas, 32 ficaram destruídas. Os acessos aos distritos do município de Irati foram interditados e os bairros mais atingidos foram Lamil, DER, Vila São João e Centro.

Tabela 11 – Ocorrências de Eventos Extremos entre os anos 1980 e 2015 no Município de Irati-PR

Data	COBRADE	Precipitação acumulada (mm)	Dias de Precipitação
25/08/1980	Inundações	128,3	6
15/12/1980	Inundações	109,4	5
01/07/1983	Inundações	107,1	6
19/12/1986	Inundações	188,7	6
08/05/1987	Inundações	219,9	5
29/05/1992	Inundações	269,7	6
22/07/2009	Enxurradas	145,6	6
11/02/2010	Enxurradas	137,4	6
26/04/2010	Enxurradas	222,3	6
14/02/2011	Enxurradas	134,8	7
31/07/2011	Enxurradas	103,3	5
19/08/2011	Enxurradas	147,3	
20/06/2013	Inundações	206	4
07/06/2014	Tempestade Local/Convectiva – Chuvas Intensas	293,9	4
29/09/2014	Enxurradas	126,5	7
11/12/2014	Enxurradas	91,1	5
16/11/2015	Enxurradas	144	6
06/12/2015	Enxurradas	132,3	7
10/12/2015	Alagamentos	55,9	1

Fonte: Defesa Civil e INMET.

No ano de 2013 foi registrado um evento extremo que causou inundações em Irati no dia 20 de junho. Foram registrados alagamentos em diversos pontos da cidade, mas o Bairro Canisianas foi o mais afetado, onde o nível da água chegou a 1m de altura. O Arroio dos Pereiras extravasou suas águas e atingiu pontos do centro de Irati (Figura 21).

Um ano depois, em junho de 2014, ocorreram inundações e enxurradas em Irati. No entanto, a Defesa Civil registrou o evento como Tempestade Local/Convectiva – Chuvas Intensas. Neste evento extremo as localidades afetadas foram Vila Nova, Nhapindazal, Canisianas, Fósforo, Rio Bonito, Vila São João, Riozinho, DER e Centro da Cidade. A área central da cidade foi afetada pelo extravasamento das águas do Arroio dos Pereiras (Figura 22).

Figura 21 – Enchente na área central em 2013, Irati-PR



Autor: Biazetto (2013)

Figura 22 – Extravasamento do Arroio dos Pereiras em 2014, Irati-PR

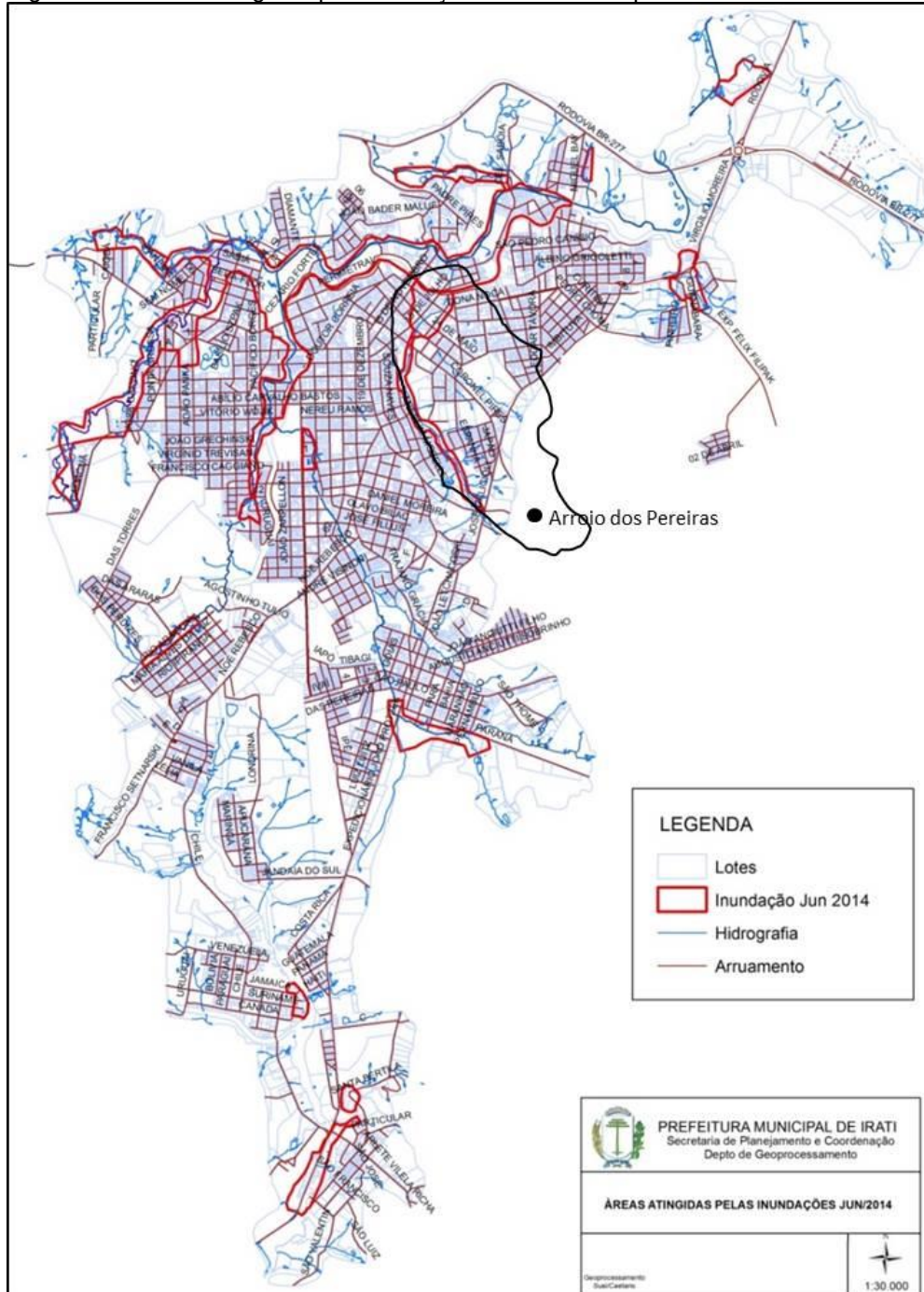


Autor: Kloster (2014)

Em junho de 2014 o total precipitado em 4 dias foi de 293,9mm, o maior

índice registrado no período em análise (Figura 23). Nesta ocasião, sobre o Município de Irati, estava atuando uma frente estacionária causando eventos extremos de precipitação desencadeando processos de inundações, superando as inundações que ocorreram em 1983. O aumento de áreas ocupadas por atividades urbanas fez com que as inundações e enxurradas em 2014 fossem mais significativas devido à impermeabilização do solo.

Figura 23 – Áreas atingidas por inundações em 2014 no perímetro urbano de Irati-PR



Fonte: Termo de referência para Elaboração do Plano Diretor e Manual de Drenagem Urbana municipal de Irati (2016)

Nota-se que todos os processos de inundações que ocorreram no município de Irati deram-se devido às chuvas de pelo menos 4 dias consecutivos e que ultrapassaram 91mm. No entanto, no dia 10 de dezembro de 2015 a precipitação de 55,9mm ocasionou pontos de alagamento. Deve-se observar que no dia 06 de dezembro do mesmo ano foram registrados 132,3mm de precipitação e que influenciaram no alagamento do dia 10 de dezembro devido ao excesso hídrico armazenado no solo. Nesta ocasião o alagamento ocorreu no Arroio dos Pereiras em trecho urbano, onde a precipitação durou 30 minutos.

Atualmente, medidas para redução das inundações e enxurradas têm sido adotadas pela Prefeitura Municipal de Irati. Estas medidas consistem, principalmente, na reestruturação da drenagem urbana na Bacia Arroio dos Pereiras, através da ampliação e melhorias na rede de drenagem na área urbana do município.

CAPÍTULO IV

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREAS POTENCIALIZADORAS DE INUNDAÇÕES E ENXURRADAS PARA A BACIA ARROIO DOS PEREIRAS

No presente capítulo são apresentados os resultados obtidos por meio da metodologia IAPIE adotada no desenvolvimento da tese. A análise das condições climáticas, das condições físicas e sociais na Bacia Arroio dos Pereiras possibilitou o entendimento da ocorrência de inundações e enxurradas na área central da cidade de Irati.

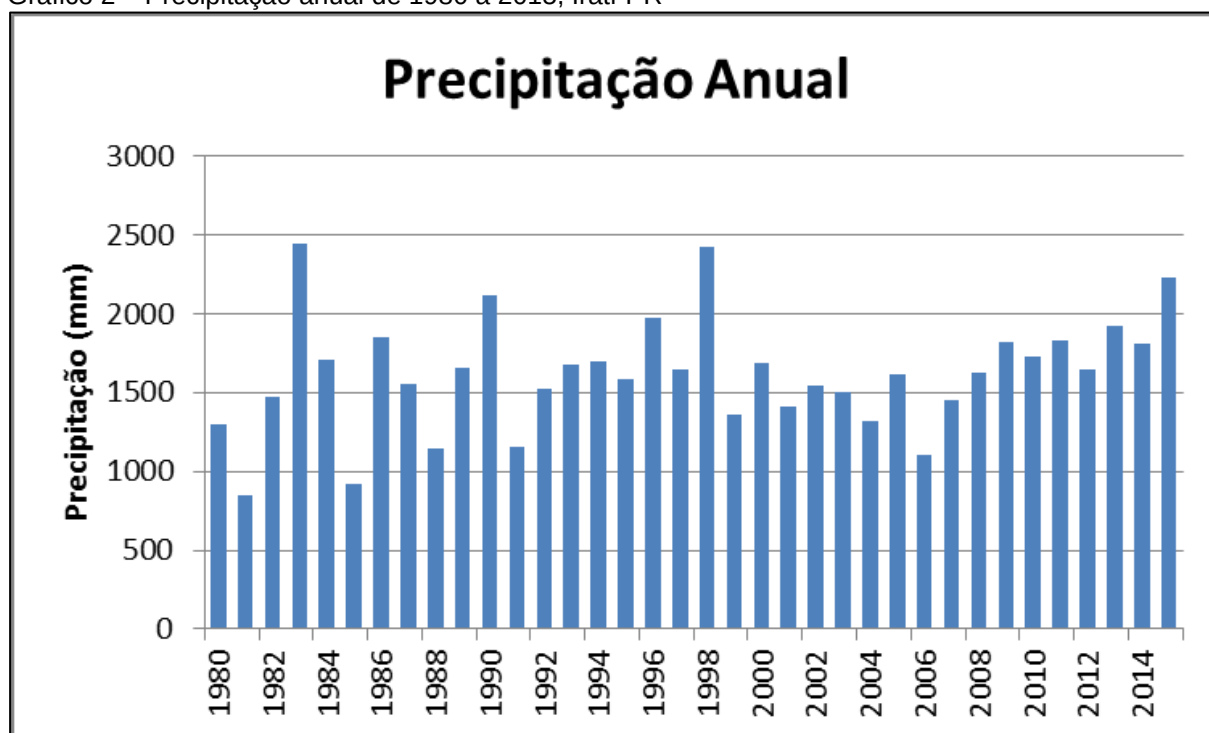
4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS

O volume da precipitação e seus regimes, sejam sazonais ou diários, e sua distribuição temporal e intensidade afetam direta ou indiretamente as condições do ambiente (SOUSA et al, 2006) e as alterações nas condições e distribuição das chuvas aumentam as ocorrências de secas ou chuvas intensas causando enchentes como é o caso do Arroio dos Pereiras, no Município de Irati. Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 180) afirmam que a localidade de Irati, “devido ao efeito do relevo e da continentalidade, apresenta maior variabilidade dos índices de chuva ao longo do ano”.

Conforme os dados coletados no site do INMET o ano mais chuvoso no período analisado foi 1983 (Gráfico 2). Neste ano o total acumulado de precipitação foi 2442,1mm quando ocorreu uma das inundações mais significativas no Município de Irati. O ano menos chuvoso também aconteceu na década de 1980, pois em 1981 o total de precipitação acumulado foi 845,7mm. A média de precipitação entre 1980 e 2015 foi de 1618,9mm, portanto, os anos de 1981 e 1983 apresentaram precipitação abaixo e acima da média no período analisado, respectivamente.

Considerando a distribuição da precipitação em relação aos meses do ano, observada por meio do Pluviograma (Figura 24), nota-se que o mês mais chuvoso no período analisado é janeiro, cuja média de precipitação é de 200,2mm. Merece destaque o ano de 1995 quando foi acumulado o total de 340,7mm de precipitação. O mês mais seco é agosto, cuja média de precipitação é de 83,9mm. Em 11 anos o mês de agosto apresentou o menor registro de precipitação. Em agosto de 1985 o total precipitado foi de apenas 2,3mm.

Gráfico 2 – Precipitação anual de 1980 a 2015, Irati-PR



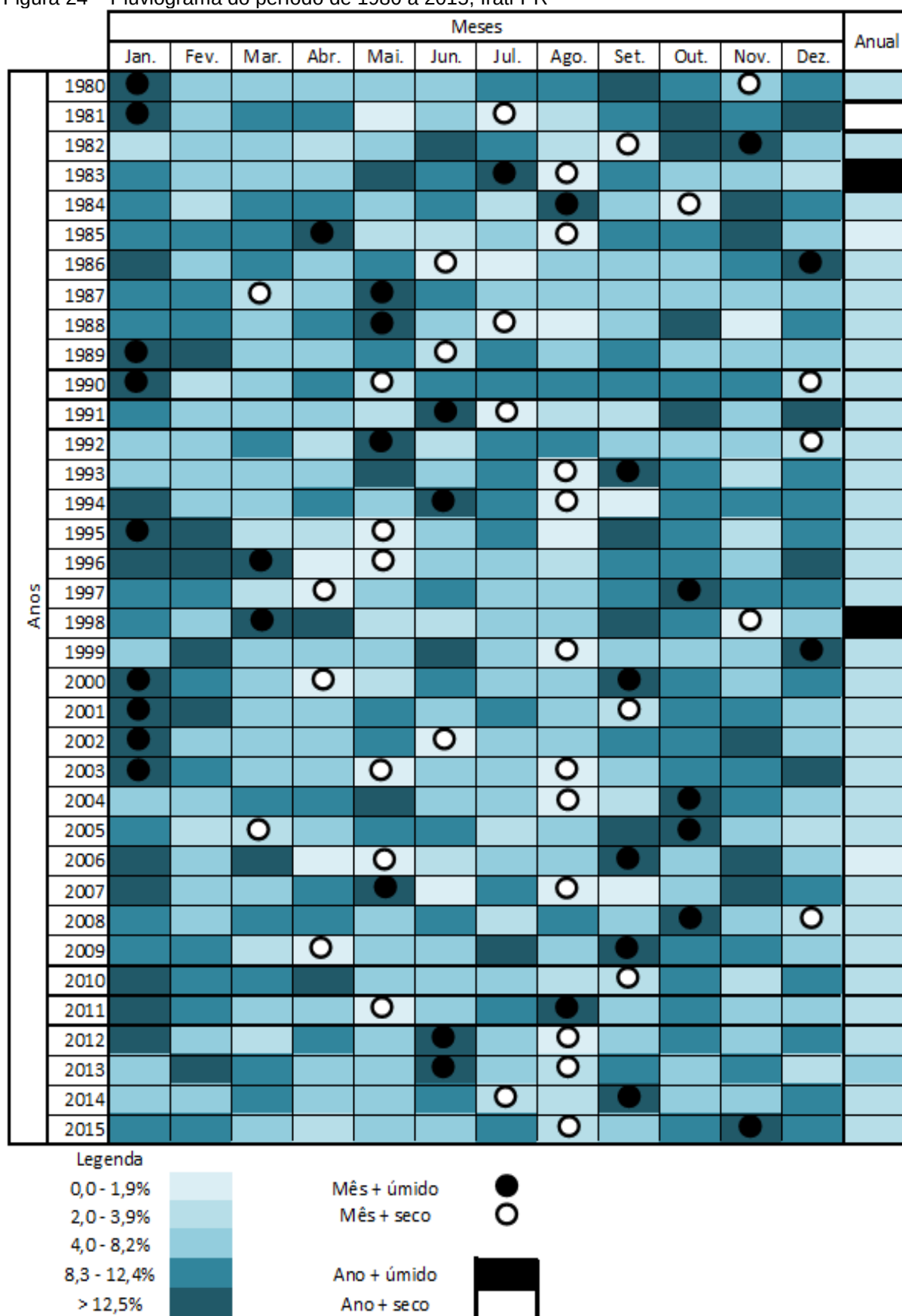
Org.: Freitas, 2016

Quanto à distribuição da precipitação nas estações do ano, o inverno de 1981 foi a que apresentou o menor índice de precipitação (85,4mm). No entanto, no inverno de 1983 a precipitação acumulada foi de 795,5mm, sendo que a média de precipitação nesta estação, no período analisado, é de 351,4mm. Analisando o pluviograma anualmente, nota-se que no ano de 1981 foram registrados os menores índices de precipitação. No entanto, nos anos de 1983 e 1998 foram os anos mais úmidos. Em 1998 não foram registrados pela defesa civil a ocorrência de desastres relacionados às enchentes e enxurradas como o registrado em 1983.

Na presente tese é analisada a enchente que ocorreu no ano de 2014, sendo esta a mais expressiva nos últimos anos. Entre os dias 06 e 09 de junho de 2014 a cidade de Irati teve um índice pluviométrico significativo (293,9mm), uma vez que o normal para o mês de junho todo, para a região é de 150mm, o que desencadeou inundações e enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras.

Os dois primeiros elementos atmosféricos analisados e relacionados (Gráfico 3) foram a pressão atmosférica e a temperatura. Entre os dias 01 e 03 de junho a temperatura apresentou uma queda e a pressão atmosférica aumentou. A partir do dia 04 até o dia 08 a temperatura estabiliza-se em 17°C e a pressão atmosférica diminui até o dia 08 quando aumenta novamente.

Figura 24 – Pluviograma do período de 1980 a 2015, Irati-PR



Fonte: Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET.
Org.: Freitas, 2016.

Gráfico 3 – Ritmo climático entre os dias 01 e 15 de junho de 2014, Irati-PR

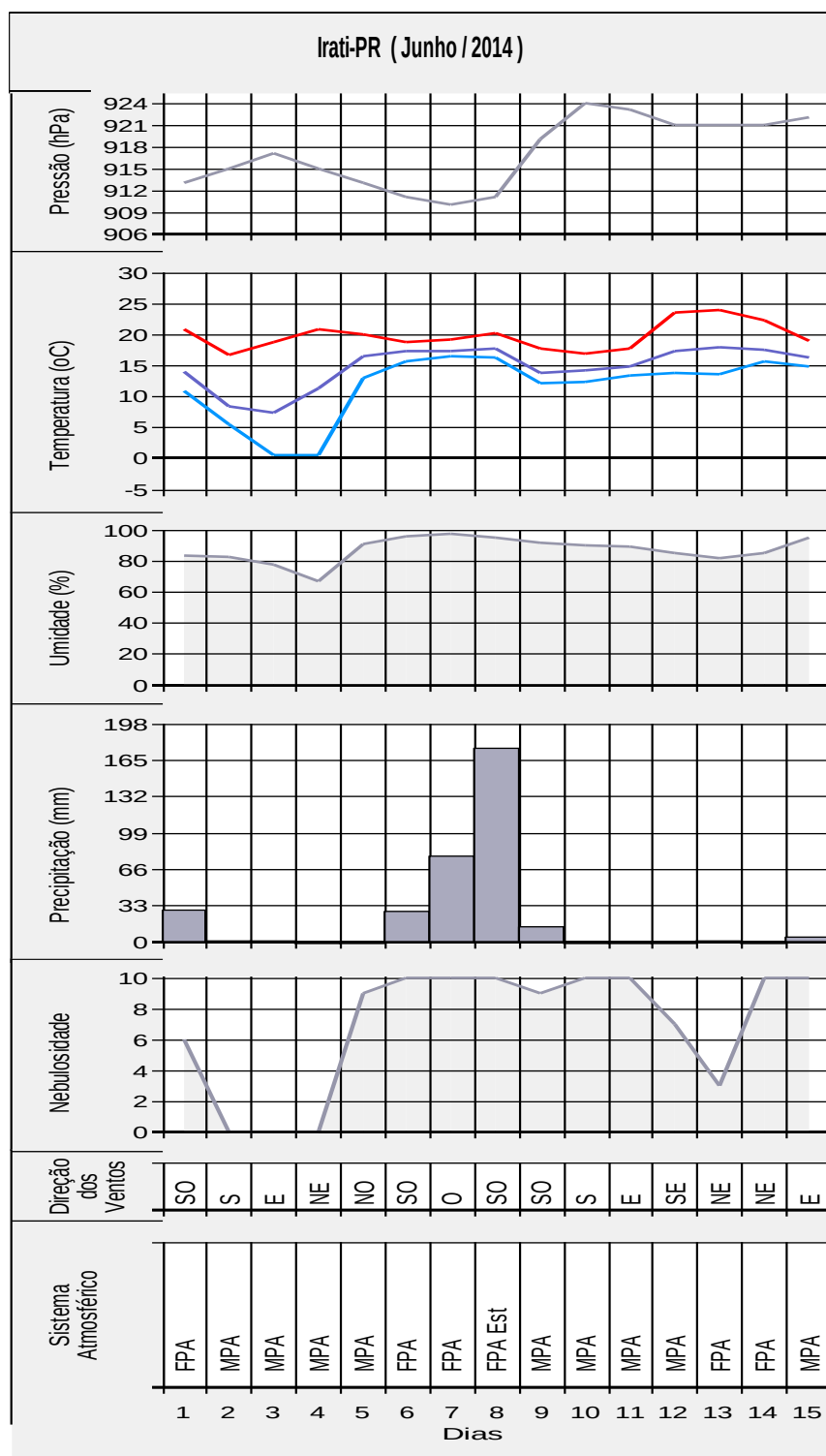


Gráfico com dados de Pressão atmosférica ao nível do mar (hPa), Temperaturas mínima, média e máxima (°C); umidade relativa (%); precipitação acumulada em 24h (mm); direção dos ventos e sistemas atmosféricos atuante no dia (FPA: Frente Polar Atlântica, MPA: Massa Polar Atlântica, FPA Est.: Frente Polar Atlântica Estacionária. Fonte: Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET. Organizado por FREITAS (2015).

Relacionando-se a temperatura, pressão atmosférica e a umidade relativa do

ar, verificou-se que conforme a pressão aumentou e a temperatura e a umidade relativa diminuíram. Após o dia 05 aumenta-se significativamente a umidade relativa na cidade de Irati chegando a 97%. A umidade relativa só volta a diminuir após o dia 10 de junho quando a temperatura voltou a subir e a pressão fica estabilizada.

O maior índice de precipitação, no período analisado, aconteceu no dia 08 de junho (175mm). A partir deste dia a precipitação e a temperatura aumentam, quando a umidade relativa diminui. Após o dia 10 o tempo fica estável quando a temperatura voltou a subir.

Outro elemento analisado foi a nebulosidade, sendo possível relacioná-la com a umidade relativa e a precipitação. Entre os dias 05 e 11 o céu ficou encoberto, compreendendo o período de chuvas intensas que ocasionaram enchentes na cidade de Irati. Nos dias 12 e 13 o céu esteve claro e não houve a ocorrência de precipitação, a qual voltou a ocorrer no dia 15 de junho. Nos dias 10 e 11 não houve precipitação, no entanto, o céu estava encoberto e a umidade relativa estava alta.

Por meio da análise da direção dos ventos verificou-se que a direção predominante foram os ventos de sul, sudoeste e sudeste. Estes ventos são mais frios e úmidos sendo resultantes da atuação de massas de ar mais frias que as oriundas do norte, noroeste e nordeste.

Verificou-se nesse período, por meio da análise rítmica e das observações nas cartas sinóticas, que houve a diminuição da pressão atmosférica na região o que possibilitou que a Frente Polar Atlântica avançasse e estacionasse sobre o Estado do Paraná. Essa queda da pressão consequentemente ocorreu devido ao aumento da temperatura após o dia 04 que estava em 0,5°C e no dia 08 chegou a 17°C, atípica no período do inverno na região de Irati.

No período analisado foi constatada a atuação da Frente Polar Atlântica nos dias 01, 06, 07, 13 e 14. Deve-se considerar que no dia 08 de junho, dia de maior ocorrência de precipitação, a frente ficou estacionária. Entre os dias 06 e 09 de junho a precipitação foi de origem frontal, tendo como característica ser intensa e contínua.

Nas tabelas 12 e 13 estão os dados calculados que determinam a vazão dos rios no período analisado.

No dia 19 de setembro foram registradas as menores vazões na bacia Arroio dos Pereiras, sendo 0,7m³/s e 0,10m³/s no início do perímetro urbano e na foz, respectivamente. As maiores vazões ocorreram no dia 04 de outubro, sendo que no início do perímetro urbano chegou a 0,55m³/s e na foz 0,60m³/s.

Tabela 12 – Medições em campo do nível fluviométrico e precipitação em 2015 e 2016 no Arroio dos Pereiras, Irati-PR

Ano	Meses	Dias	Nível (m)		Precipitação (mm)	
			Arroio dos Pereiras (IP)	Arroio dos Pereiras (F)	Arroio dos Pereiras (IP)	Arroio dos Pereiras (F)
2015	Agosto	01	0,32	0,30	0	0
		19	0,39	0,45	11	9
		28	1,01	1,07	85	71
	Setembro	04	0,34	0,61	18	15
		11	0,67	0,86	56	44
		19	0,17	0,23	2	2
	Outubro	04	1,10	1,10	125	95
		13	0,50	0,83	43	18
		18	0,77	0,95	106	88
		28	0,20	0,28	6	5
	Novembro	06	0,55	0,79	100	95
		14	0,53	0,71	41	20
		20	0,77	0,81	82	86
		30	0,64	0,84	45	68
	Dezembro	12	0,60	0,94	46	53
		16	0,77	1,04	51	40
		21	0,39	0,45	4	9
2016	Janeiro	04	1,01	1,07	61	62
		12	0,67	0,86	31	41
		28	0,50	0,83	41	35
	Fevereiro	04	0,78	0,73	40	36
		11	0,62	0,70	23	25
		20	0,81	0,83	45	41
		29	0,89	0,88	44	51
	Março	04	0,95	1,01	38	37
		10	0,64	0,62	21	20
		20	0,46	0,49	7	6
		26	0,95	0,96	71	72
	Abril	01	0,49	0,61	5	4
		16	0,68	0,81	41	44
		27	0,76	0,78	43	44
	Maio	12	0,66	0,71	20	19
		23	0,84	0,89	53	54
	Junho	02	0,69	0,79	22	22
		08	0,54	0,62	5	5
		23	0,88	0,89	61	60
	Julho	07	0,51	0,54	5	5
		17	0,53	0,67	78	80
		27	0,42	0,53	36	31

IP – Início do Perímetro Urbano, F – Foz.

O balanço hídrico da Bacia Arroio dos Pereiras foi analisado no período de 1980 a 2015 (Gráficos 4 a 6). No mês de julho do ano de 1983 foi registrado, considerando todo o período analisado, o maior excedente hídrico (445mm), quando ocorreram inundações e enxurradas em todo o Estado do Paraná. O maior déficit

hídrico, em mais de trinta anos de análise, aconteceu no mês de abril de 2009(-22mm), quando foi registrado um período significativo de estiagem em Irati.

Tabela 13 – Vazão da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR

Ano	Meses	Dias	Vazão (m³/s)	
			Arroio dos Pereiras (IP)	Arroio dos Pereiras (F)
2015	Agosto	01	0,14	0,12
		19	0,17	0,19
		28	0,55	0,54
	Setembro	04	0,15	0,27
		11	0,32	0,41
		19	0,10	0,07
	Outubro	04	0,60	0,55
		13	0,24	0,39
		18	0,39	0,48
		28	0,11	0,12
	Novembro	06	0,26	0,37
		14	0,25	0,34
		20	0,36	0,30
		30	0,30	0,39
	Dezembro	12	0,28	0,44
		16	0,36	0,52
		21	0,16	0,18
2016	Janeiro	04	0,51	0,50
		12	0,30	0,38
		28	0,24	0,39
	Fevereiro	04	0,37	0,34
		11	0,29	0,33
		20	0,42	0,41
		29	0,42	0,39
	Março	04	0,55	0,45
		10	0,30	0,29
		20	0,22	0,19
		26	0,52	0,45
	Abril	01	0,29	0,18
		14	0,41	0,32
		27	0,36	0,37
	Maio	12	0,29	0,33
		23	0,42	0,39
	Junho	02	0,31	0,37
		08	0,25	0,24
		23	0,41	0,37
	Julho	07	0,24	0,20
		17	0,25	0,32
		27	0,20	0,21

IP – Início do Perímetro Urbano, F – Foz.

Ao relacionar os gráficos de balanço hídrico com os dias de registro de ocorrência de inundações e enxurradas, verifica-se a relação proporcional do excedente hídrico com os eventos extremos no Município de Irati (Tabela 14). Além de julho de 1983, houve o registro de outras taxas de excedente hídrico. Em maio de 1992, foi registrada a segunda maior taxa excedente (425mm) e na inundação de dezembro de 1980 foi registrado o menor excedente (68,7mm).

Tabela 14 – Relação inundações e excedente hídrico em Irati-PR (1980-2017).

Inundações	Excedente hídrico (mm)
08/1980	123,0
12/1980	68,7
07/1983	445,0
12/1986	249,0
05/1987	355,0
05/1992	425,0
07/2009	270,0
02/2010	123,0
04/2010	231,0
02/2011	86,7
07/2011	162,0
08/2011	332,0
06/2013	302,0
06/2014	324,0
09/2014	202,0
11/2015	220,0
12/2015	116,0

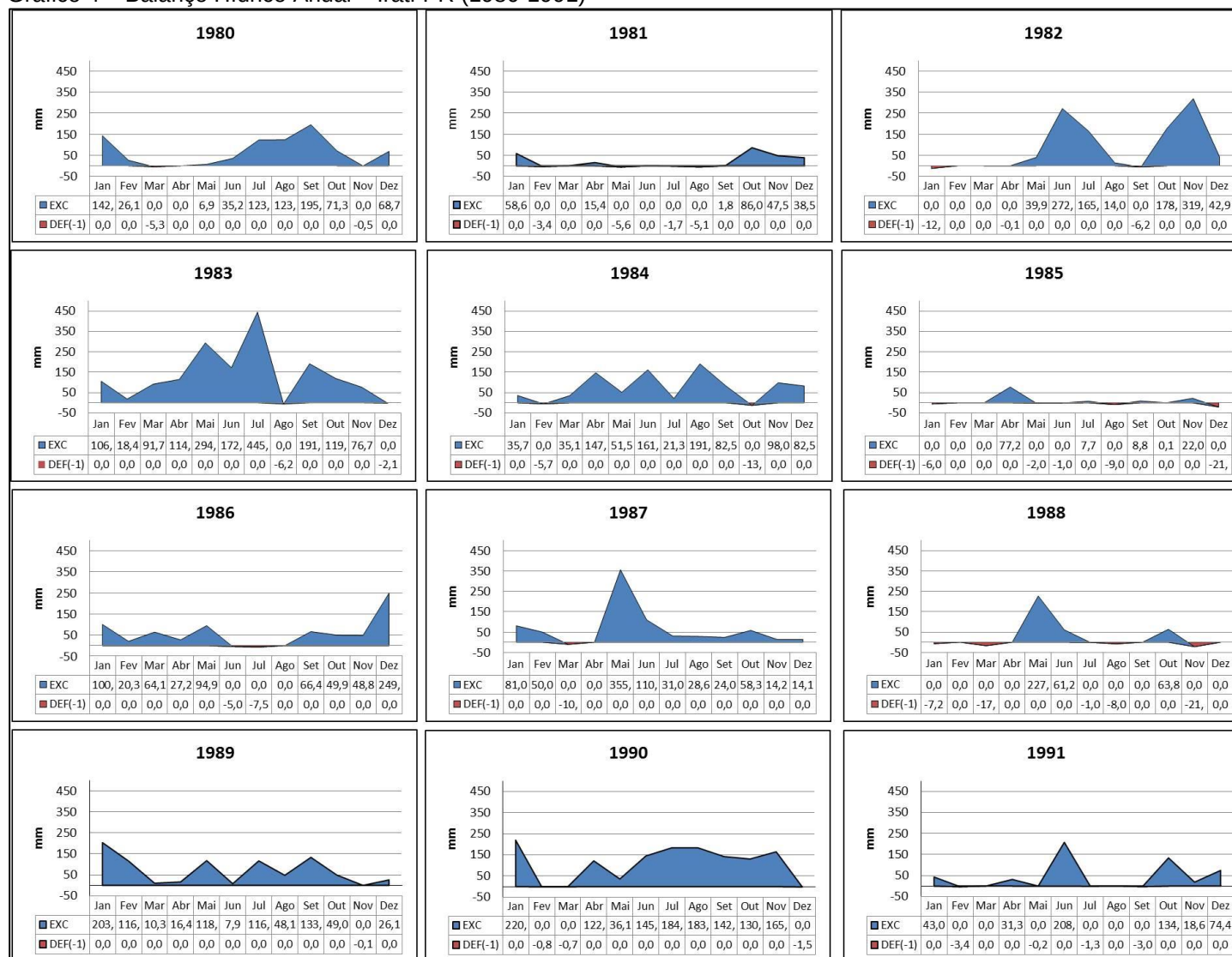
Org.: Freitas (2018).

Relacionando o gráfico de precipitação anual, o pluviograma e os dados da Defesa Civil foi possível identificar que o mês de julho de 1983 foi o mais chuvoso do ano e quando ocorreu a inundação no Município de Irati e de outros da região sul do Brasil. As precipitações que resultaram em eventos extremos tiveram duração em média de 4,6 dias consecutivos.

Considerando o ano de 2014 percebe-se que no mês de junho, quando ocorreu a última inundação de grandes proporções na Bacia Arroio dos Pereiras, o extrato de balanço hídrico deixa evidente o excedente hídrico de 324mm, devido ao significativo índice de precipitação e temperaturas amenas, características da transição do outono para o inverno. No mês de setembro foi registrado o segundo maior excedente hídrico de 2014, cujo valor é de 202mm. No mesmo ano, dois períodos apresentam déficit hídrico, um em fevereiro (-8mm) e outro em outubro (-6mm). O mês de agosto, tipicamente mais seco na região analisada, apresentou o excedente hídrico de 1,6mm.

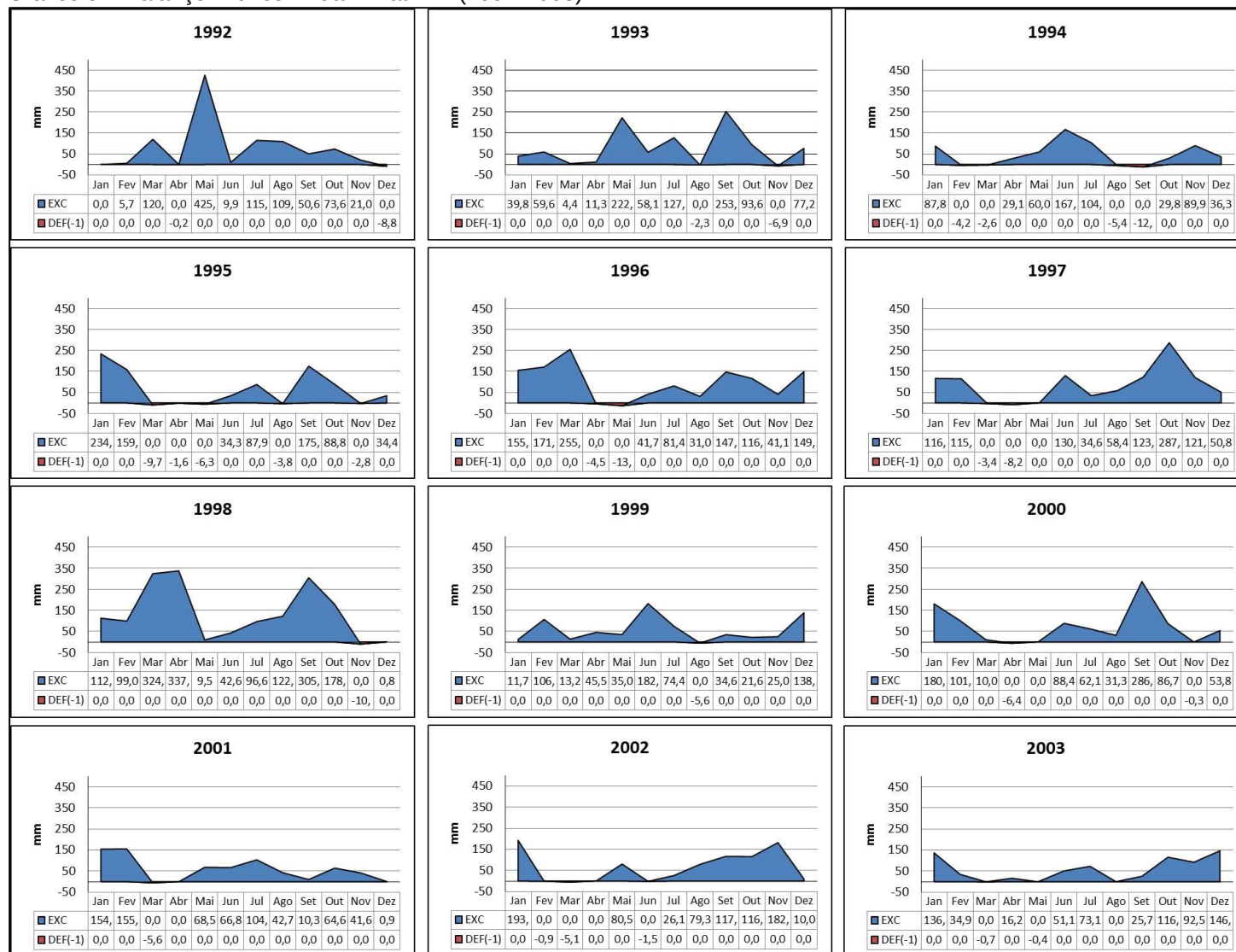
No Gráfico 7 observa-se a infiltração em diferentes usos da terra no intervalo de tempo de sessenta minutos. Esse gráfico mostra o comportamento da infiltração da água no solo em relação ao tempo, ou seja, no início a taxa de infiltração é alta, na medida em que o tempo passa a infiltração diminui.

Gráfico 4 – Balanço Hídrico Anual – Irati-PR (1980-1991)



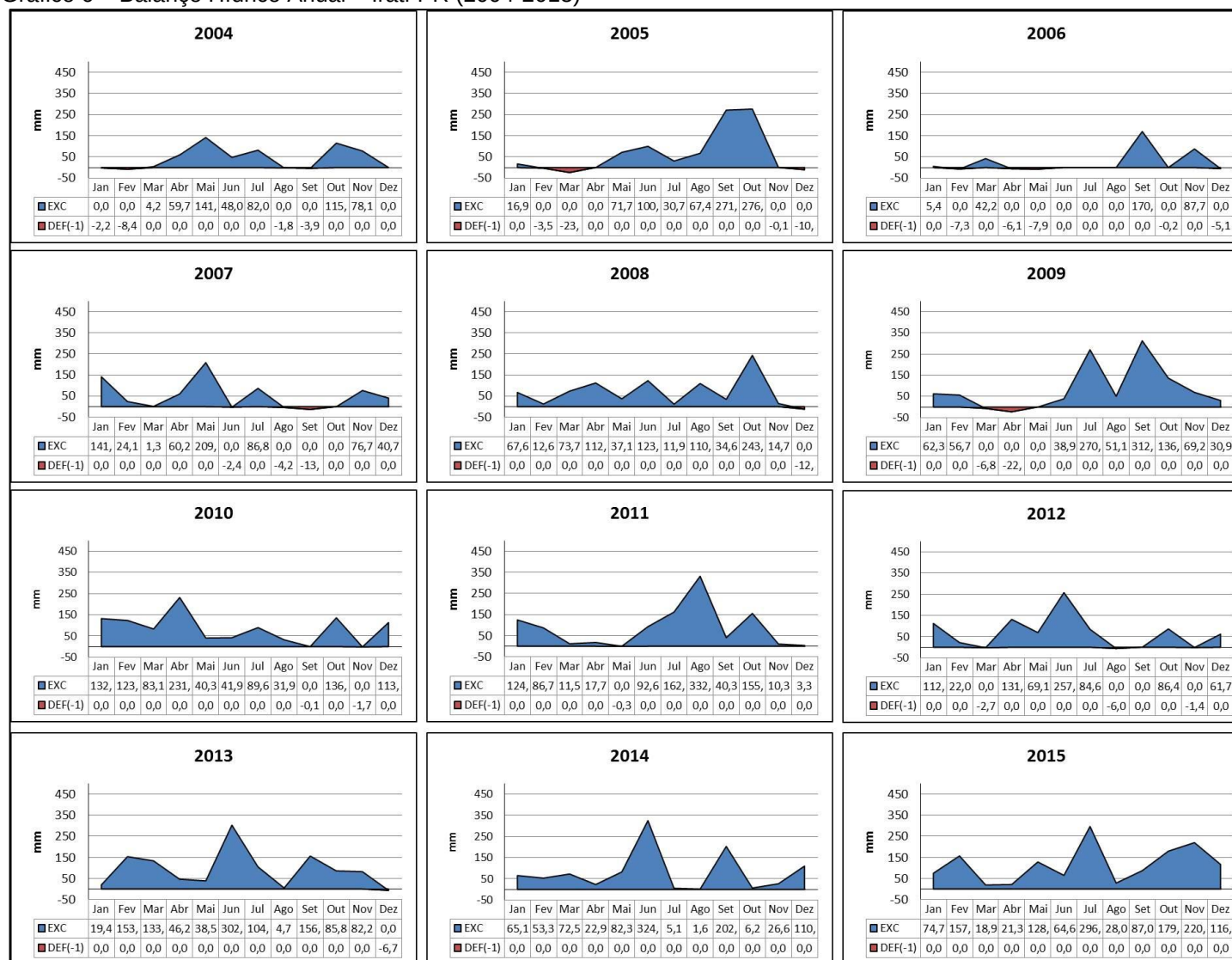
Org.: A Autora.

Gráfico 5 – Balanço Hídrico Anual – Irati-PR (1992-2003)



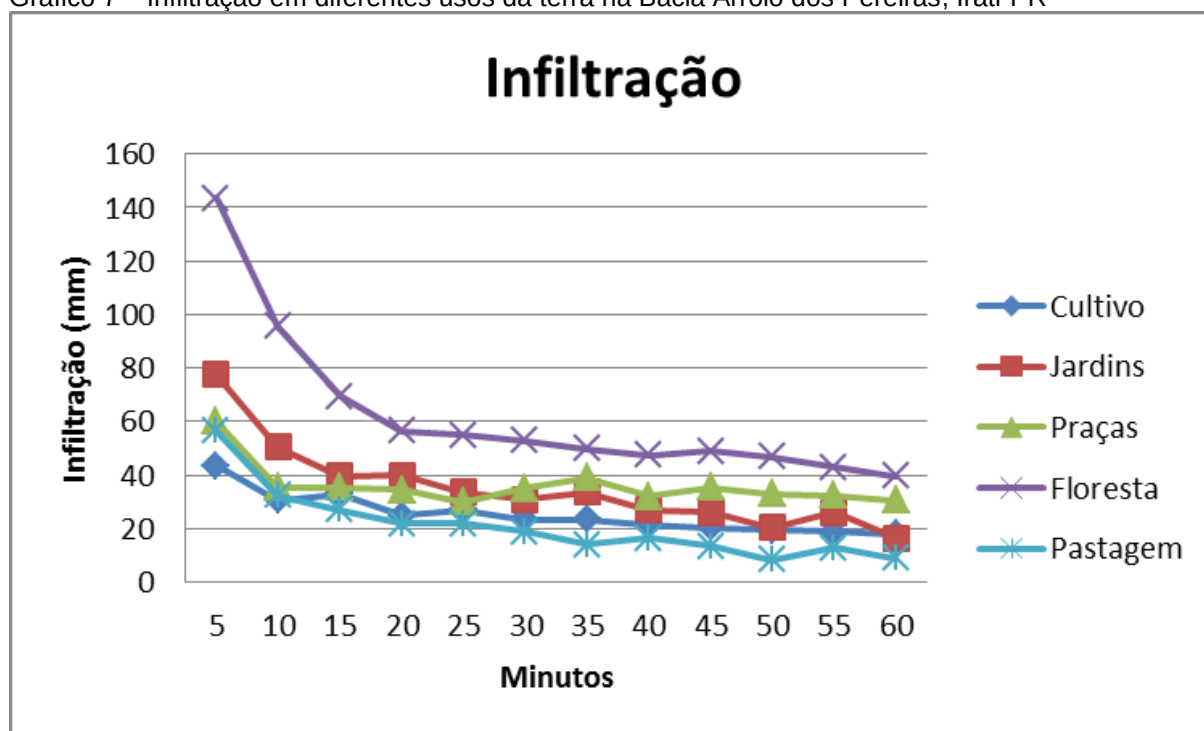
Org.: A Autora.

Gráfico 6 – Balanço Hídrico Anual – Irati-PR (2004-2015)



Org.: A Autora.

Gráfico 7 – Infiltração em diferentes usos da terra na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Org.: A autora

A área florestal apresentou maior infiltração inicial no verão, com 148mm, diminuindo com o passar do tempo até registrar 41mm com sessenta minutos transcorridos. A classe Campestre registrou maior infiltração na primavera com 73mm nos primeiros minutos e 8mm com sessenta minutos.

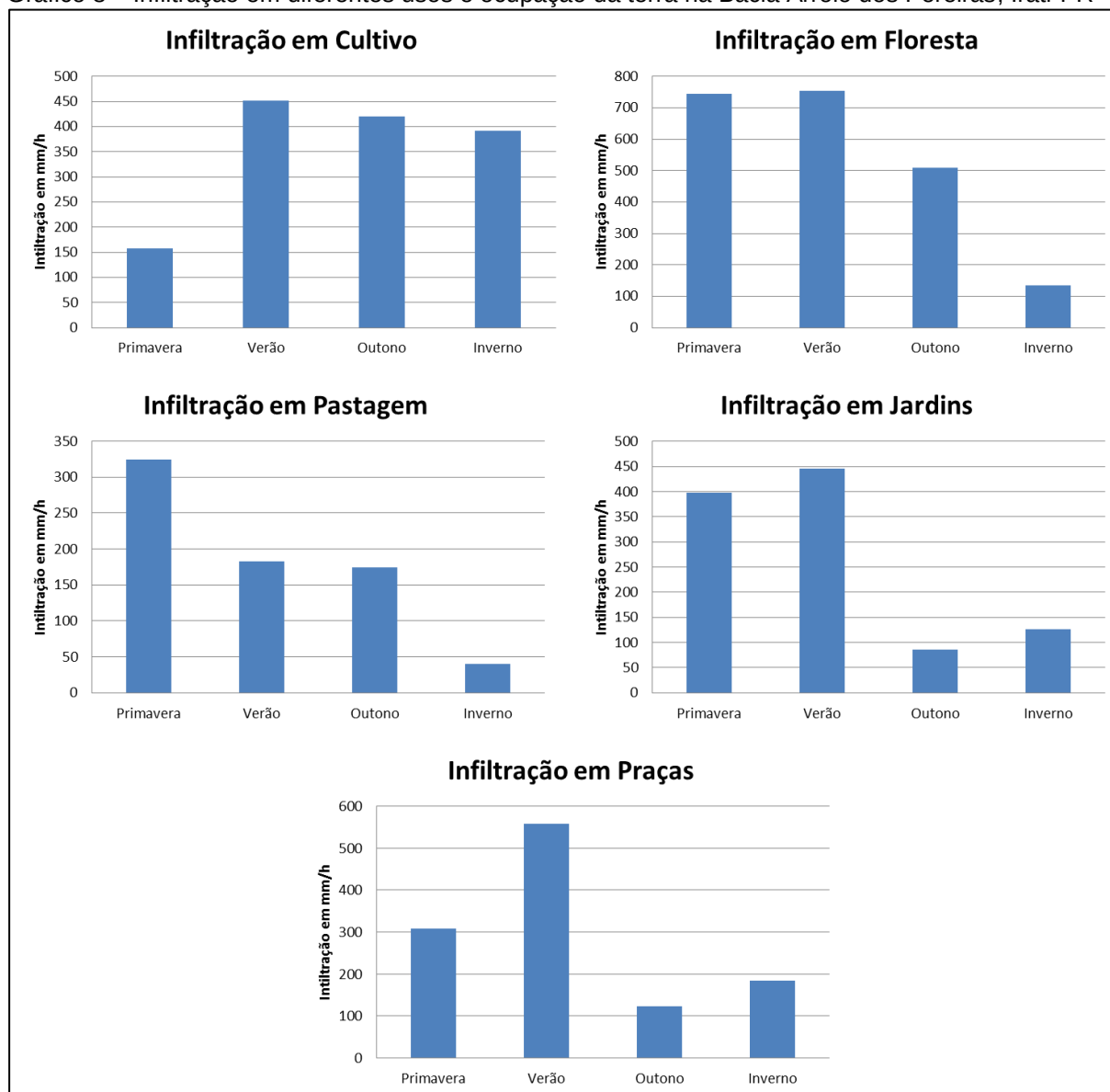
Observando a taxa de infiltração em cada uso do solo, observa-se que a floresta é o que apresenta maior infiltração, contrariamente, o uso do solo com pastagem mostrou a menor taxa de infiltração. A infiltração total da floresta em cada estação do ano foi de 740mm na primavera, 752mm no verão, 509mm no outono e 135 no inverno. A campestre apresentou 321mm na primavera, 183mm no verão, 174mm no outono e 60 mm no inverno (Gráfico 8).

Na área urbanizada foram coletados dados em dois tipos de usos. Uma das áreas corresponde a jardim residencial e a outra a praça. As duas áreas, apesar de serem recobertas por gramíneas, apresentaram discrepâncias na quantidade da água infiltrada no período de uma hora e conforme a sazonalidade.

Analisando os dados coletados em campo, nota-se a capacidade de infiltração durante o intervalo de tempo de sessenta minutos e a capacidade de alteração nos quatro diferentes usos da terra. É importante salientar, que no decorrer das estações, ocorre uma variação de umidade presente no solo, entre o período mais seco e o mais

chuvoso, o que influencia na quantidade de água infiltrada.

Gráfico 8 – Infiltração em diferentes usos e ocupação da terra na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Org.: A Autora.

A infiltração de água no solo mensurada em cada estação do ano apresenta diferenças. O verão foi a estação que apresentou maior taxa de infiltração, nos diferentes usos da terra, contrariamente, o inverno foi a estação que registrou as menores taxas de infiltração. O total de infiltração apresentada em cada uso do solo, no verão, foi de 451mm no cultivo, 445mm no urbano, 752mm na floresta, 183mm na pastagem. Inversamente a taxa de infiltração registrada no verão, o inverno apresentou 391mm no cultivo, 180mm no urbano, 135mm na floresta e 60 na pastagem, o que revela a notável discrepância de infiltração entre ambas estações do ano.

A partir dos testes de infiltração no ano de 2014 foi possível gerar mapas do potencial de infiltração em diferentes tipos de uso para os anos de 1980, 2004 e 2013 (Figura 25). A partir destes mapas foram elaborados mapas sazonais de infiltração da água no solo conforme o uso para os anos de 1980 (Figura 26), 2004 (Figura 27) e 2013 (Figura 28).

Os mapas de comprometimento à infiltração da água na Bacia Arroio dos Pereiras conforme o uso permitem identificar quais áreas mais influenciaram nas condições de infiltração da água no solo. Na tabela 15 é apresentada a quantificação e variação das áreas quanto à impermeabilização do solo.

O uso de terras com florestas teve a maior taxa de infiltração, com exceção do inverno, motivado pela ocorrência de chuvas torrenciais no mês de julho (mês da coleta dos dados em campo) trouxe restrição na taxa de infiltração (total e velocidade) registrando uma redução significativa. No inverno o uso do solo com o cultivo foi o que apresentou maior infiltração em relação aos outros diferentes usos, devido ao manejo do solo com o cultivo de milho.

No início do processo de mensuração a infiltração foi rápida e decresceu ao longo do tempo, indicando que a taxa de infiltração é maior nos primeiros minutos e com o passar do tempo, a camada superficial está saturada, diminuindo até chegar a taxa de infiltração constante. Cada classe de uso do solo possui peculiaridades, pois a área com floresta proporciona proteção ao solo contra os impactos da chuva, o que reduz o escoamento superficial e aumenta a taxa de infiltração.

O uso ocupação da terra com o cultivo, durante o período de coleta, teve o cultivo de milho, no qual o manejo influenciou na capacidade de infiltração. A pastagem possuía a presença de animais como ovelhas, carneiros, cabras e vacas, o solo apresentava susceptibilidade à compactação, devido ao pisoteio desses animais. O ponto de mensuração na área urbana ocorreu em área particular, com vegetação rasteira e utilizada pelos moradores para guardar veículos, dentre outros usos, os quais poderiam aumentar a compactação do solo e influenciar a taxa de infiltração.

Nos três períodos analisados a variação sazonal da infiltração da água no solo será a mesma. A alteração evidente é a dinâmica de uso e ocupação que ocorreu entre os anos de 1980 e 2013. Devido ao avanço das áreas urbanizadas sobre outros tipos de uso, como cultivo, floresta e campestre, a taxa de variação da infiltração da água no solo passou por mudanças significativas em todas as estações dos anos analisados.

Figura 25 – Infiltração da água na Bacia Arroio dos Pereiras nos anos de 1980, 2004 e 2013, Irati-PR

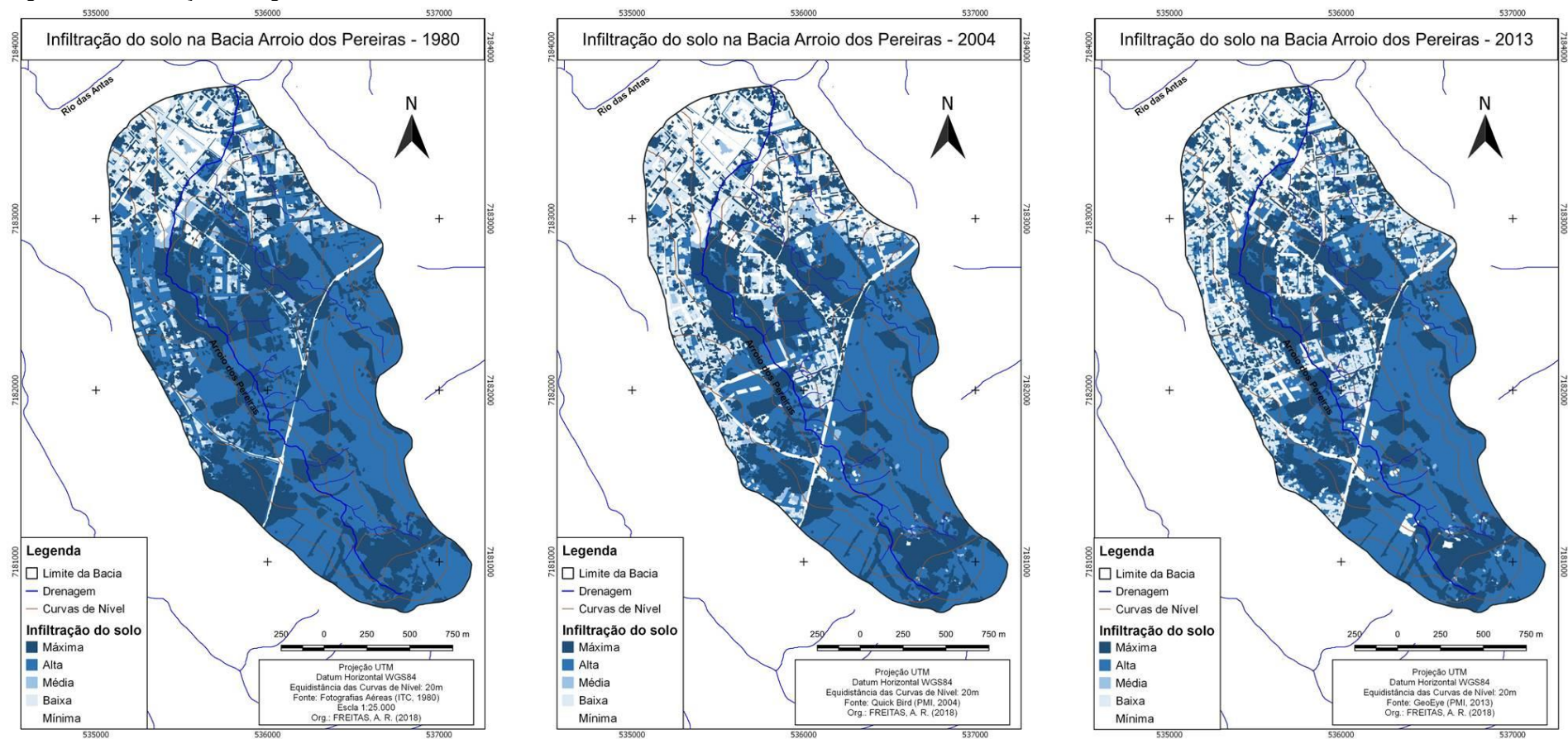


Figura 26 – Infiltração sazonal em diferentes tipos de uso do solo na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR, em 1980

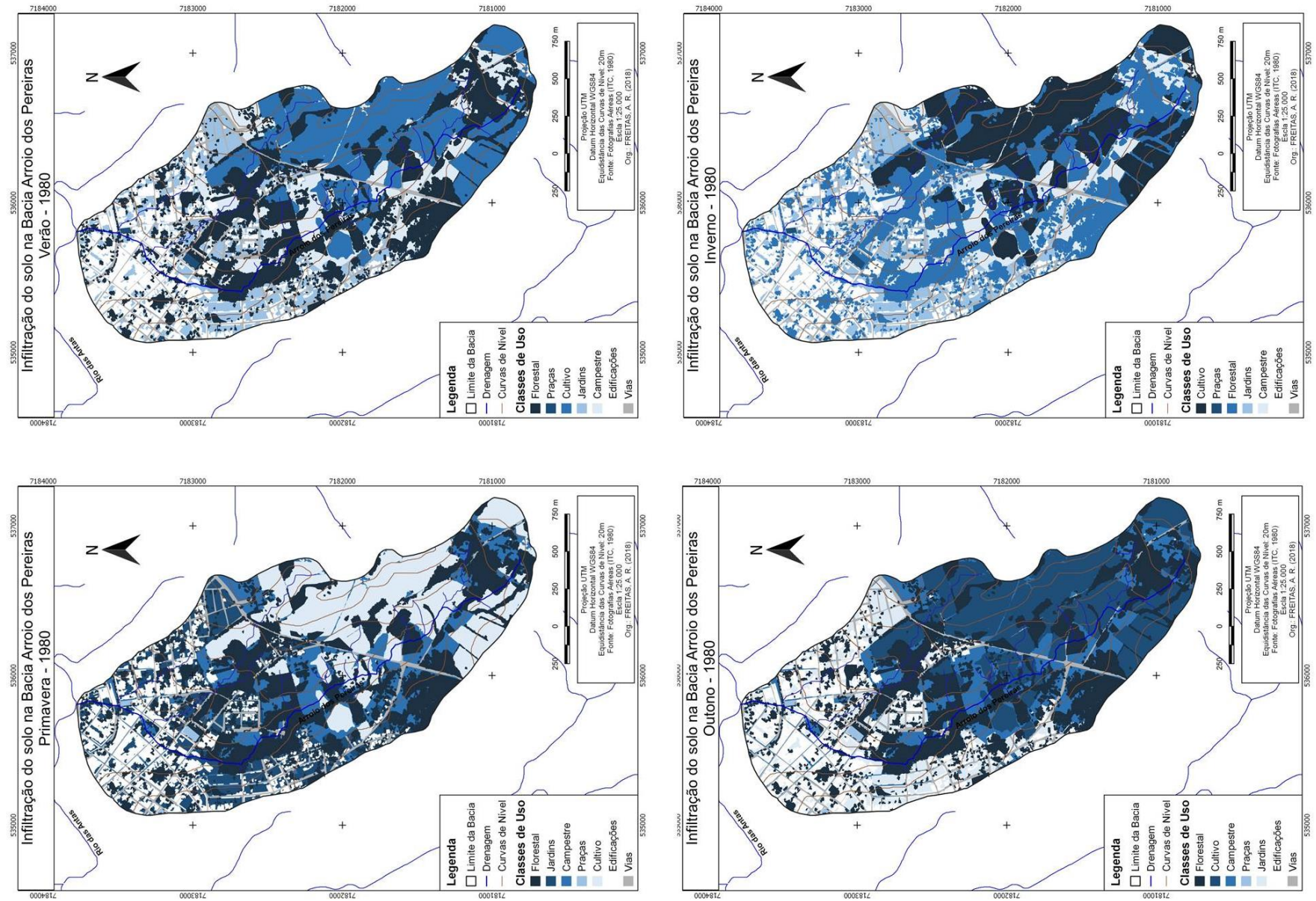


Figura 27 – Infiltração sazonal em diferentes tipos de uso do solo na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR, em 2004

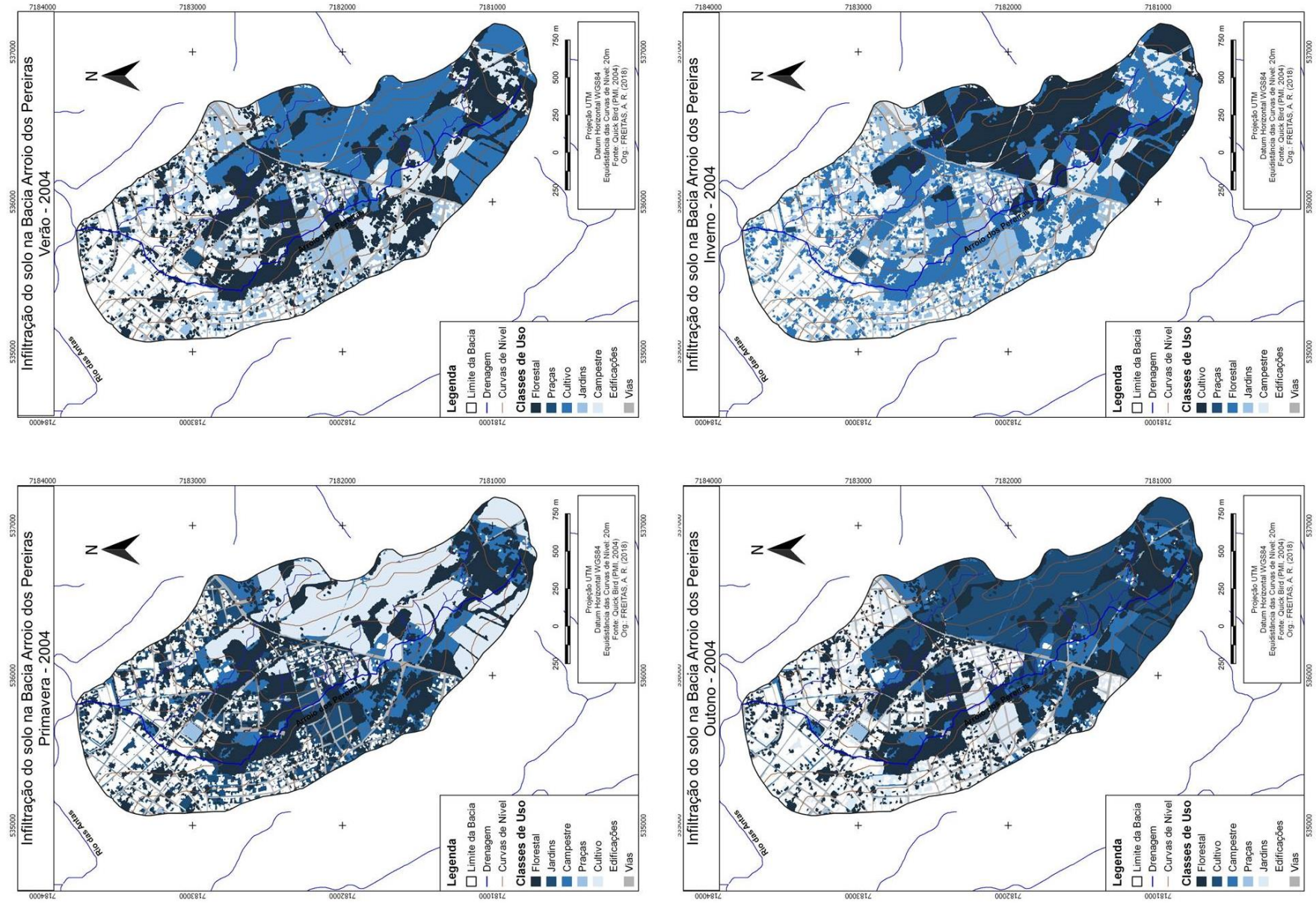


Figura 28 – Infiltração sazonal em diferentes tipos de uso do solo na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR, em 2013

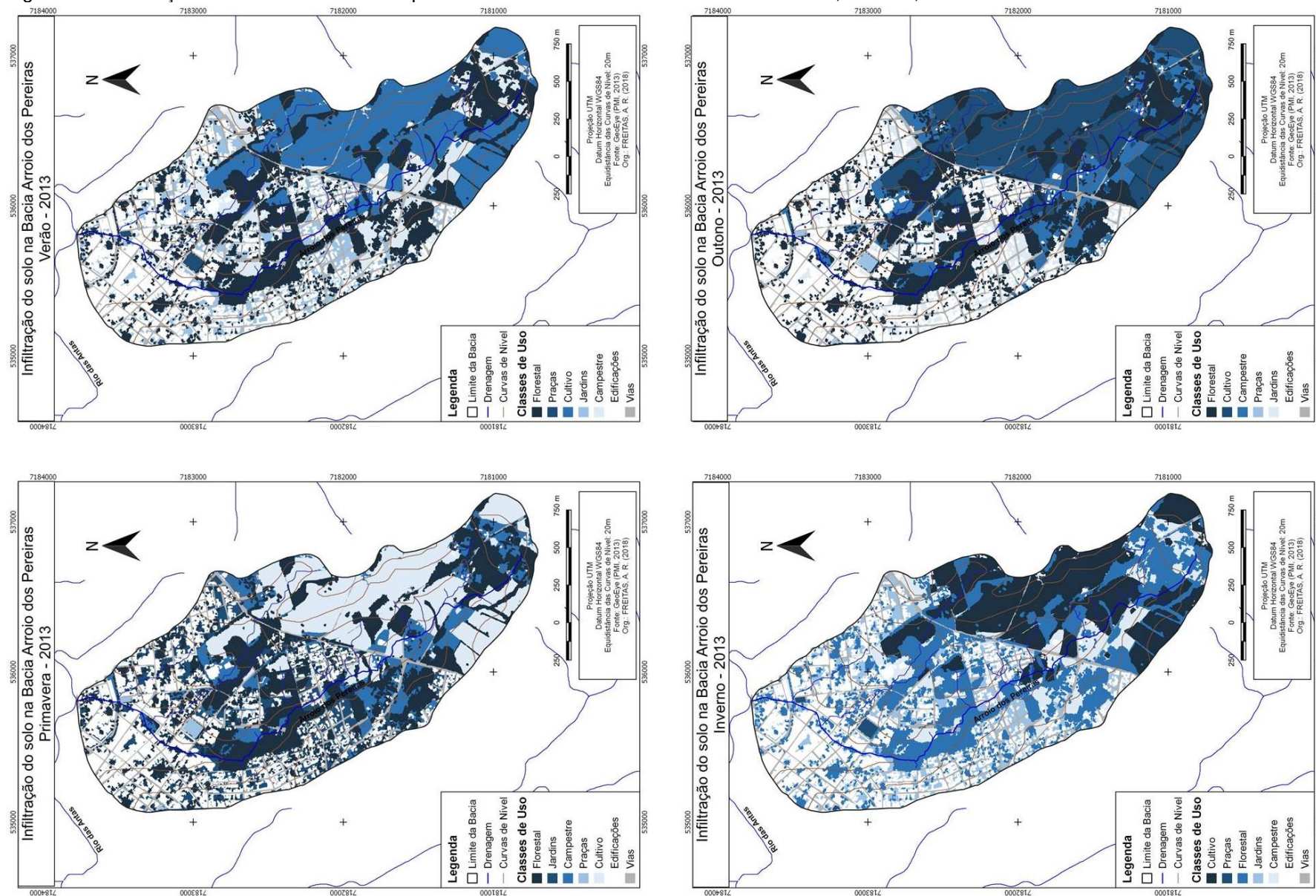


Tabela 15 – Quantificação das classes de infiltração da água na Bacia Arroio dos Pereiras nos anos de 1980, 2004 e 2013, Irati-PR

Classe	1980		2004		2013		Var. 80/04 %	Var. 04/13 %	Var. 80/13 %
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%			
Máxima	100,34	28,29	89,21	25,15	86,63	24,43	-11,09	-2,89	-13,66
Alta	173,29	48,86	173,67	48,97	154,14	43,46	+0,22	-11,25	-11,05
Média	35,83	10,10	22,75	6,41	35,13	9,91	-36,51	+54,42	-1,95
Baixa	16,26	4,58	22,43	6,32	28,25	7,97	+37,95	+25,95	+73,74
Mínima	28,94	8,16	46,60	13,14	50,51	14,24	+61,02	+8,39	+74,53
Total	354,66	100,00	354,66	100,00	354,66	100,00	-	-	-

A área de mínima infiltração corresponde ao espaço ocupado por edificações muito densas (uso residencial, industrial, uso misto, uso público, comércio), pavimentação interna, calçadas e ruas pavimentadas. Nestas áreas a impermeabilização do solo torna-se mais evidente pela existência das estruturas urbanas. Aumentando-se a impermeabilização do solo maior será o escoamento superficial e, conseqüentemente, maior será a possibilidade de ocorrência de inundações e enxurradas na Bacia do Arroio dos Pereiras. O mapeamento possibilitou identificar que entre os anos de 1980 e 2013 houve aumento de 74,53% das áreas com infiltração mínima da água no médio e baixo curso da bacia.

No ano de 1980 as áreas classificadas com infiltração baixa ocupavam 4,58% da área da Bacia do Arroio dos Pereiras. Nos anos de 2004 e 2013, esta classe ocupada por edificações medianamente densas com vias de calçamento aumentou do baixo curso para o médio curso da bacia. Em 2004 a classe correspondia a 22,43ha (6,32%) e em 2013 ocupava 28,25ha (7,97%). No período analisado a classe de infiltração baixa aumentou 73,74%. Observa-se que, as duas classes com ocupações que mais impermeabilizam o solo, foram as que mais aumentaram.

A classe cuja infiltração é média (jardins e edificações pouco densas) apresentou aumento de 54,42% entre os anos de 1980 e 2004, devido à consolidação de novos loteamentos localizados no médio curso da Bacia Arroio dos Pereiras. No entanto, entre os anos de 2004 e 2013 houve a redução da classe em 1,95% devido ao aumento das áreas com baixa e mínima infiltração, pois os terrenos em loteamentos novos continuavam a ser ocupados. Trata-se de uma área que está passando por modificações e que se não houver a preocupação em manter jardins e áreas permeáveis nas residências influenciarão no processo de escoamento superficial intensificando a ocorrência de inundações e enxurradas em áreas à jusante.

As áreas correspondentes às calçadas gramadas, cultivo, lotes baldios, praças, vias não pavimentadas e campestre enquadram-se na classe de alta infiltração da água no solo da bacia. Estes espaços, no ano de 1980 ocupavam 48,86% (173,29ha) da área de estudos. No ano de 2004 as áreas com alta infiltração da água aumentaram em 0,22%, totalizando 173,67ha (48,97%). No entanto, entre os anos de 2004 e 2013 houve a redução de 11,25% das áreas de alta infiltração. Devido ao processo de ocupação de novos loteamentos, principalmente, no médio curso da Bacia Arroio dos Pereiras, houve o aumento da impermeabilização do solo. Nesta classe, consideram-se áreas a serem mantidas com alta infiltração da água no solo para que, assim, evite-se o significativo escoamento superficial com velocidades e intensidades maiores.

Espaços ocupados por reservas florestais, calçadas arborizadas e campos de esportes são as que mais propiciam a infiltração da água no solo e no período analisado reduziram em 13,66%. Esta classe, denominada como a de máxima infiltração da água no solo diminuem conforme a expansão urbana tem acontecido sentido às nascentes da Bacia Arroio dos Pereiras. Além de possibilitar uma maior taxa de infiltração da água no solo, auxiliam no conforto térmico do espaço urbano e na diminuição de ocupações irregulares em áreas de preservação permanente.

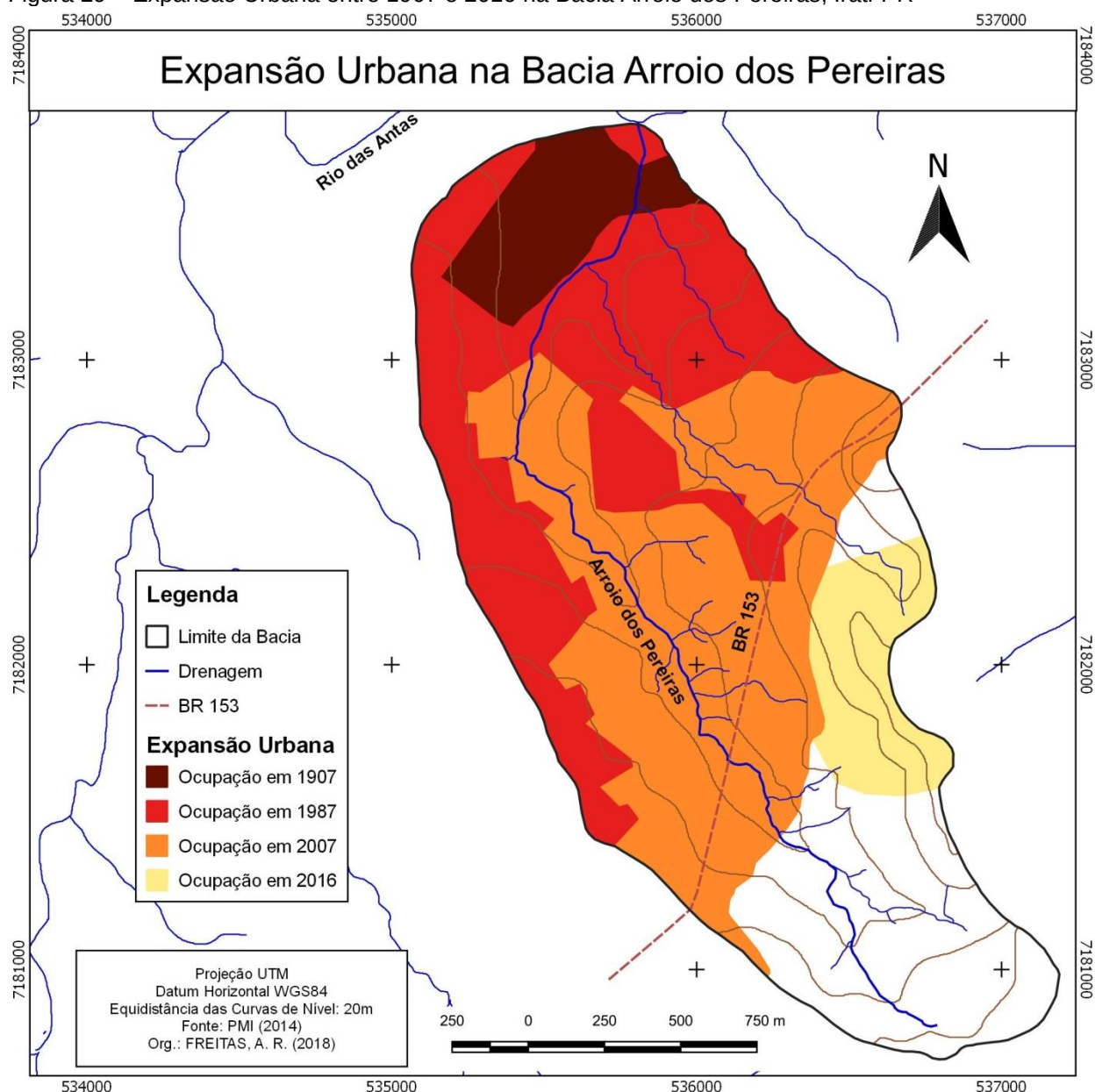
4.2 DINÂMICA SOCIAL E HISTÓRICO DE INUNDAÇÕES E ENXURRADAS

A ocupação da bacia Arroio dos Pereiras antecede ao período em que Irati tornou-se Município. A expansão urbana na Bacia Arroio dos Pereiras (Figura 29) deu-se da região de sua foz em direção às áreas mais altas, à montante.

No Plano Diretor de 2010 fez-se referência ao sistema de drenagem pluvial. Na época a cidade de Irati tinha cerca de 60km de galerias de águas pluviais, chegando a 10% do total de vias urbanas (IRATI, 2010). No entanto, este sistema, devido à expansão urbana e a implementação de novos loteamentos precisa ser discutido e melhorias são necessárias. Para tanto, há uma proposta da realização de cadastramento da rede de drenagem pluvial existente e a sua ampliação.

A preparação do Termo de Referência para a Elaboração do Plano Diretor e Manual de Drenagem Urbana do município de Irati tem se tornado exigência da população que tem sido cada vez mais afetada por inundações enxurradas, pois muitas áreas são atingidas por conta da dimensão dos canais de drenagem, bueiros e pontes.

Figura 29 – Expansão Urbana entre 1907 e 2016 na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Sendo assim, o objetivo do termo de referência é diagnosticar o sistema de drenagem da área urbana e entorno por meio de estudos e análise dos principais elementos de macrodrenagem, desde os rios, córregos, córregos fechados e galerias.

A dinâmica social na bacia Arroio dos Pereiras pode ser analisada por meio da quantificação e variação das classes de uso do solo (Tabela 16) e dos mapas dos anos de 1980, 2004 e 2013 (Figura 30).

No ano de 1980 a classe Água (Figura 31) não estava presente na bacia Arroio dos Pereiras. Nesta classe foram considerados açudes e lagos artificiais utilizados na criação de peixes em propriedades privadas e comerciais, presentes no

médio e alto curso da bacia. Além da identificação da classe água em áreas rurais, no espaço urbano foram consideradas piscinas residenciais, presentes no médio e baixo curso da bacia analisada. No ano de 2004, as áreas de água ocupavam 0,88ha (0,25%) da área de estudos e no ano de 2013 aumentaram em 94,32%, totalizando 1,71ha (0,48%).

Tabela 16 – Quantificação das classes de uso do solo na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR

Classe	1980		2004		2013		Var. 80/04 %	Var. 04/13 %	Var. 80/13 %
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%			
Água	0	0,00	0,88	0,25	1,71	0,48	+100,00	+94,32	+100,00
Áreas Gramadas	39,43	11,12	30,2	8,52	42,15	11,88	-23,41	+39,57	+6,90
Campestre	36,59	10,32	35,39	9,98	38,49	10,85	-3,28	+8,76	+5,19
Cultivo	94,01	26,51	79,48	22,41	80,35	22,66	-15,46	+1,09	-14,53
Edificações	36,08	10,17	50,97	14,37	59,74	16,84	+41,27	+17,21	+65,58
Lotes Baldios	30,19	8,51	44,92	12,67	23,81	6,71	+48,79	-46,99	-21,13
Praças	0,75	0,21	1,14	0,32	1,14	0,32	+52,00	0,00	+52,00
Vegetação Arbórea	99,11	27,95	87,63	24,71	85,00	23,97	-11,58	-3,00	-14,24
Vias Calçadas	5,16	1,45	7,56	2,13	6,14	1,73	+46,51	-18,78	+18,99
Vias Não Pavimentadas	8,1	2,28	4,76	1,34	3,46	0,98	-41,23	-27,31	-57,28
Vias Pavimentadas	5,24	1,48	11,73	3,31	12,67	3,57	+123,85	+8,01	+141,79
Total	354,66	100,00	354,66	100,00	354,66	100,00	-	-	-

As Áreas Gramadas (Figura 32) correspondem aos jardins e passeios gramados. No ano de 1980 esta classe ocupava 39,43ha (11,12%) e teve a redução de 23,41% no ano de 2004, totalizando 30,20ha (8,52%). Esta redução deu-se devido à expansão urbana e à impermeabilização do solo em residências com calçadas e passeios pavimentados. Entre os anos de 2004 e 2013 a classe teve aumento de 39,57%, ocupando 42,15ha (11,88%) em áreas do médio e baixo curso da Bacia Arroio dos Pereiras. O aumento da classe aconteceu devido aos passeios gramados em lotes até então não ocupados.

Entre os anos de 1980 e 2004 a classe Campestre (Figura 33) reduziu 3,28%, ocupando 35,39ha (9,98%) em áreas no médio e alto curso do Arroio dos Pereiras. No entanto, entre os anos de 2004 e 2013 a classe aumentou em 8,76%, correspondendo a 38,49ha (10,85%) da área de estudos. O aumento se deu devido ao abandono de áreas que se recompuseram com vegetação herbácea. Vale salientar, que no mapeamento não foram feitas distinções entre os tipos de campos sujos ou limpos. As áreas ocupadas por campo estão mais evidentes no alto curso da bacia em pequenas propriedades rurais para a criação de animais.

Figura 30 – Usos da terra nos anos de 1980, 2004 e 2013 na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR

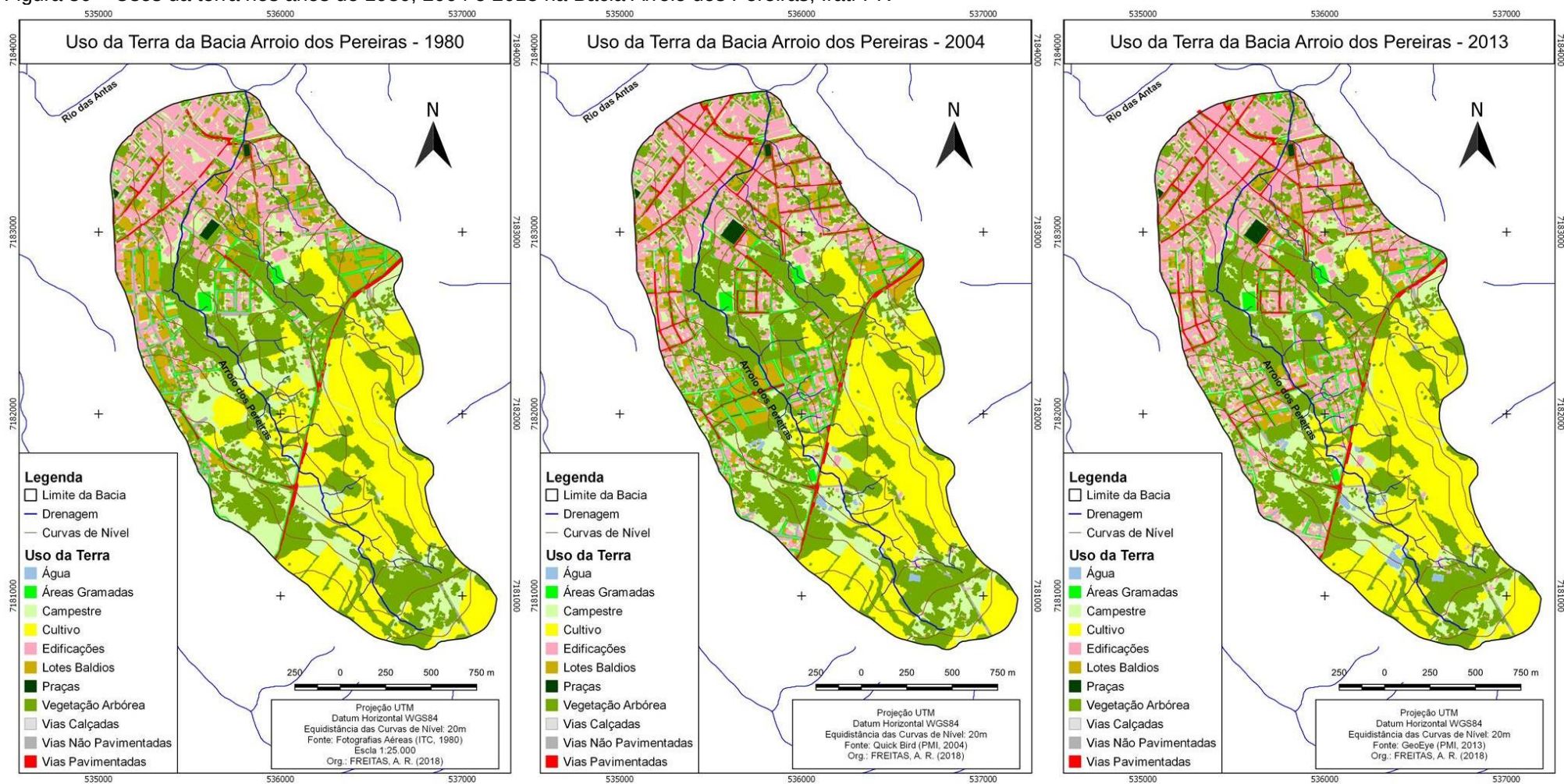
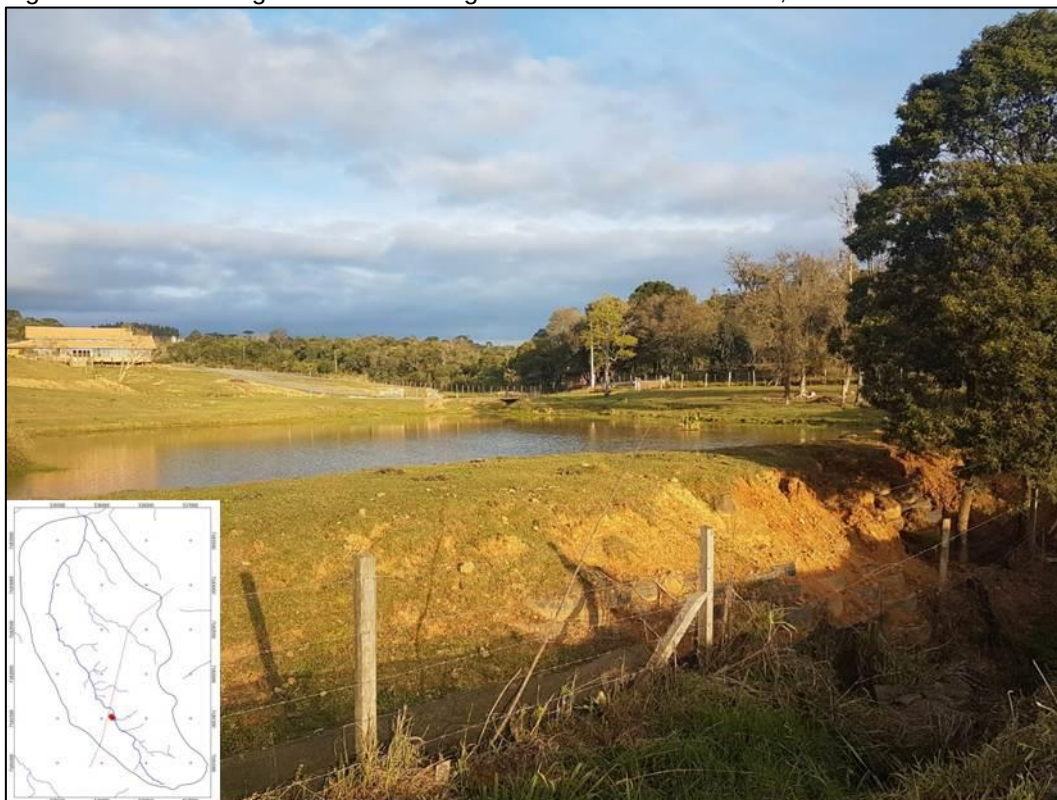


Figura 31 – Classe Água – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Figura 32 – Classe Áreas Gramadas – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Figura 33 – Classe Campestre – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

A classe Cultivo (Figura 34) está presente tanto na área urbanizada quando na rural, pois configuram hortas urbanas e cultivo de milho e soja em propriedades rurais. Portanto, a classe está presente no médio e alto curso da bacia estudada. Trata-se de um tipo de uso do solo que, no período de 1980 e 2013, apresentou redução de 14,53%, dando espaço às edificações e estruturas urbanas e em propriedades rurais.

A segunda classe que mais aumentou foi a de Edificações (Figura 35). No ano de 1980 correspondia a 36,08ha (10,17%), em 2004 aumentou para 50,97ha (14,37%) e em 2013 chegou a ocupar 59,74ha (16,84%), ou seja, houve aumento de 65,58% das áreas edificadas o que configura o processo de expansão urbana na bacia Arroio dos Pereiras. A urbanização crescente faz com que haja o aumento das áreas impermeabilizadas, o que possibilita a ocorrência de inundações e enxurradas. Ao se observar esta situação é possível afirmar que o aumento de desastres ambientais em Irati é resultante da ocupação urbana sem preocupações com a manutenção de áreas permeáveis.

Os Lotes Baldios (Figura 36) corresponderam aos terrenos em loteamentos antigos ou novos que não foram ocupados por edificações ou outras estruturas

urbanas. No ano de 1980, observa-se no mapa que no médio curso da bacia estudada havia um loteamento recém-criado que estava em vias de ocupação. No período de 1980 a 2004 houve o aumento de 48,79%. Com o passar do tempo e a ocupação dos terrenos, a classe, em 2013, diminuiu em 46,99%, ocupando 23,81ha (6,71%). Os lotes baldios, quando cuidados possibilitam a infiltração da água no solo. Não significa que estes terrenos não devam ser ocupados, mas devem ser tomadas medidas, como a criação de jardins gramados para que não ocorra a impermeabilização total da área.

Figura 34 – Classe Cultivo – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Na Bacia Arroio dos Pereiras existem três Praças (Figura 37) nas áreas centrais da cidade de Irati. No ano de 1980 a área ocupada pelas Praças correspondia a 0,75ha (0,21%) da bacia analisada. Entre os anos de 1980 e 2004 a Praça da Matriz Nossa Senhora da Luz teve a área ampliada em 52%. Até o ano de 2013 não foram criadas novas praças, sendo que estes espaços são destinados ao lazer e à prática de atividades esportivas pela população. Além disso, são áreas que, devido à presença de vegetação, possibilitam a infiltração da água no solo e que, na ocorrência de eventos extremos relacionados às inundações e enxurradas podem ser ocupadas pela água.

Figura 35 – Classe Edificações – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Figura 36 – Classe Lotes Baldios – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Figura 37 – Classe Praças – Praça da Matriz Nossa Senhora da Luz – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Na Bacia Arroio dos Pereiras existem áreas ocupadas por Vegetação Arbórea (Figura 38) correspondentes às matas ciliares, reservas florestais urbanas e rurais e passeios arborizados. No médio curso da bacia está presente a chamada Mata dos Gomes, que tem sido alvo de manifestações da população para que não seja implementado na área um novo loteamento. No ano de 1980 as áreas ocupadas por vegetação arbórea eram mais evidentes e ocupavam 99,11ha (27,95%). Até o ano de 2013 esta classe reduziu em 14,24%, ocupando 85,00ha (23,97%), pois cedeu lugar às edificações. Deve-se considerar que a manutenção das áreas cobertas por vegetação arbórea é essencial no processo de infiltração da água no solo, pois conforme mensurações realizadas na bacia, este é o tipo de uso onde a água mais infiltra.

No mapeamento do uso do solo foram considerados os tipos de arruamentos encontrados na bacia, pois estes influenciam diretamente no escoamento da água pluvial. No ano de 1980, as Vias Não Pavimentadas (Figura 39) eram as mais expressivas e ocupavam 8,10ha (2,28%), as Vias Calçadas (Figura 40) estavam presentes em 5,16ha (1,45%), e as Vias Pavimentadas (Figura 41) recobriam 5,24ha

(1,48%) da bacia. Em 2004, as Vias Pavimentadas tornaram-se as mais expressivas com o aumento de 123,85%. Entre os anos de 1980 e 2013 as Vias Pavimentadas aumentaram em 141,79%, as Vias Calçadas tiveram acréscimo de 18,99% e as Vias Não Pavimentadas reduziram suas áreas em 57,28.

Figura 38 – Classe Vegetação Arbórea – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Deve-se considerar que é de suma importância a conservação e reconstituição de áreas de floresta na Bacia Arroio dos Pereiras. Conforme monitoramentos realizados verificou-se que a infiltração da água ocorre de forma mais rápida em áreas ocupadas por florestas pela presença da serapilheira e do solo menos compactado. Na área de estudos novos loteamentos tem suprimido as áreas de floresta o que intensificará o escoamento superficial e aumento do nível da água em canais fluviais.

No ano de 2016 foi aprovada pela Câmara dos Vereadores de Irati a revisão do Plano Diretor Municipal. Nesta versão estão presentes medidas visando a melhoria da drenagem urbana (Figura 42), pois a cidade de Irati conta com cerca de 60km de galerias de águas pluviais, correspondendo em torno de 10% das vias urbanas.

Figura 39 – Classe Vias Não Pavimentadas – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Figura 40– Classe Vias Calçadas – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Figura 41 – Classe Vias Pavimentadas – Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Figura 42 – Obra de melhoria da rede de drenagem na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR



Fonte: Freitas (2018)

Estas informações demonstram a necessidade da ampliação das galerias pluviais. O poder municipal tem trabalhado na ampliação e melhoria na rede de drenagem urbana na Bacia Arroio dos Pereiras.

4.3 O ÍNDICE DE ÁREAS POTENCIALIZADORAS DE INUNDAÇÕES (IAPIE) DA BACIA AROIO DOS PEREIRAS

A primeira etapa da metodologia consistiu em setorizar a Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras. Por se tratar de uma bacia hidrográfica predominantemente urbanizada, foram adotados os limites dos bairros. Na área da bacia foram identificados 6 setores conforme representado na Tabela 17 e Figura 43.

Tabela 17 – Setorização da Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR

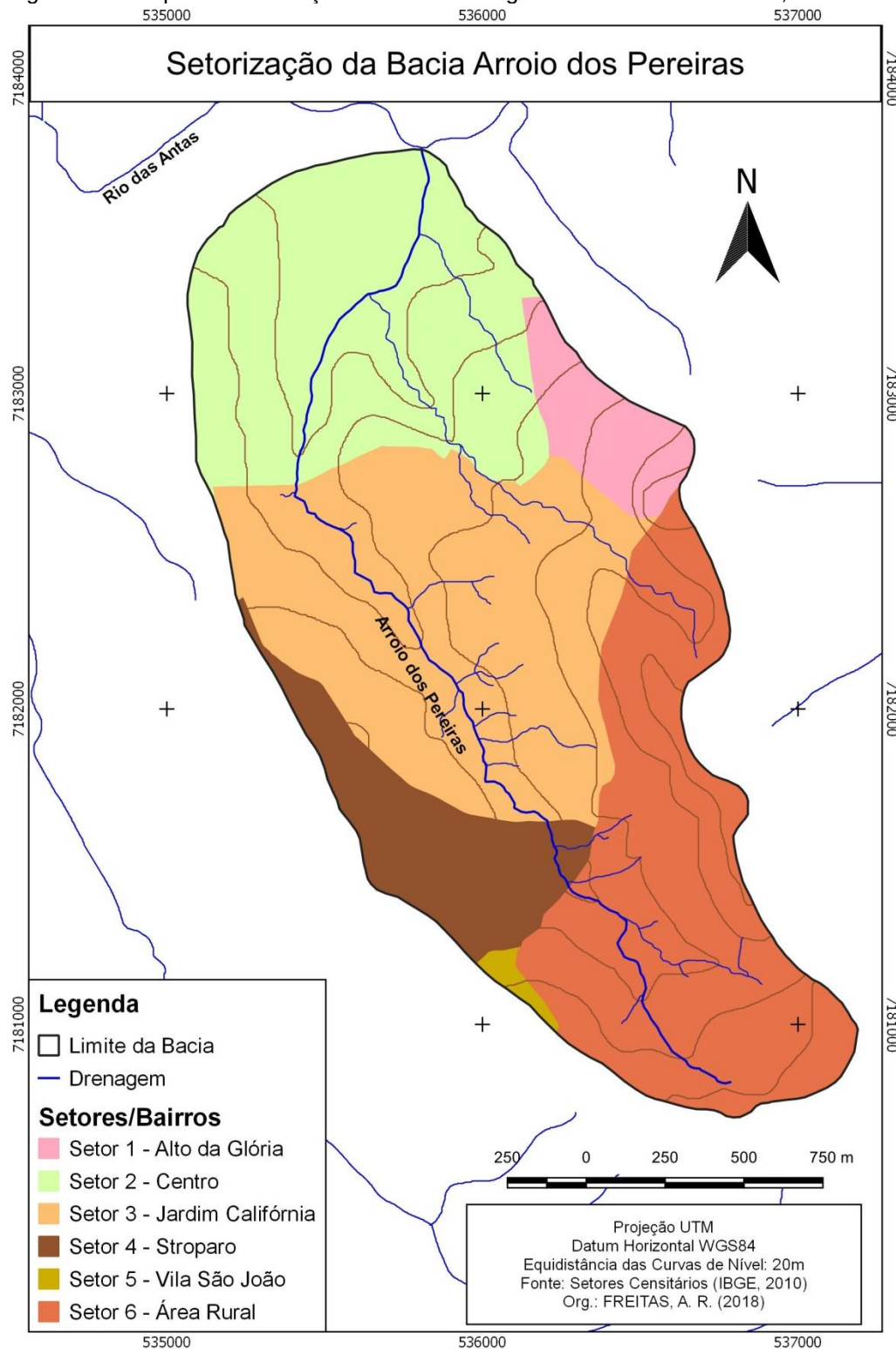
Setor	Bairro	Área (ha)	%
1	Alto da Glória	16,65	4,69
2	Centro	95,98	27,06
3	Jardim Califórnia	111,86	31,54
4	Stroparo	32,88	9,27
5	Vila São João	1,37	0,39
6	Área Rural	95,92	27,05
Total		354,66	100

O Setor 1, corresponde ao Bairro Alto da Glória, localizado na porção leste da bacia e ocupa 16,65ha (4,69%). Trata-se de um bairro que, já em 1980, estava em fase de ocupação e, no entanto, ainda existem lotes baldios devido à especulação imobiliária na cidade de Irati. É um bairro próximo ao centro da cidade e predominantemente residencial, ocupado por moradias unifamiliares em lotes, em sua maioria, com relevo acidentado. As condições de declividade deste bairro favorecem o escoamento superficial da água de forma mais intensa, mesmo que não ocorra inundação e enxurrada no mesmo.

O Centro é denominado como Setor 2, onde as atividades econômicas são desenvolvidas, o que acaba exercendo uma “hierarquia social”, pois esta área constitui um valor econômico superior aos demais bairros. Na região Central está localizado o comércio e prestação de serviços da cidade de Irati, além de residências da população com melhor poder aquisitivo. O Centro de Irati está localizado no baixo curso da Bacia Arroio dos Pereiras e, frequentemente, tem sido

acometido por inundações e enxurradas. Devido à intensa ocupação por atividades de diversas naturezas, os prejuízos causados por inundações e enxurradas afetam tanto moradores quanto comerciantes e prestadores de serviços de Irati, independente da classe social.

Figura 43 – Mapa de setorização da Bacia Hidrográfica Arroio dos Pereiras, Irati-PR



O Jardim Califórnia corresponde ao Setor 3, cuja localização é próxima ao Centro, mas que ainda apresenta menor fluxo de pessoas e carros, por apresentar áreas com loteamentos novos. Além disso, o processo de urbanização se intensificou nesta área, após o ano de 2004, o que tem causado discussões entre a população e o poder público, devido a criação de mais um loteamento, na área que hoje é ocupada por uma reserva florestal urbana, denominada Mata dos Gomes.

O Bairro Stroparo, que corresponde ao Setor 4, assim como os demais, está localizado próximo ao Centro de Irati. Possui similaridades quanto às características do Centro, pois apresenta área comercial, de prestação de serviços e residencial. Na área residencial encontram-se moradias unifamiliares, lotes sem ocupação e áreas verdes.

O Setor 5 compreende parte da Vila São João, conhecida como Irati Velho, pois nesta área, no século XIX, houve a ocupação inicial da Cidade. Trata-se de um bairro localizado distante do Centro, no entanto, pela presença de indústrias e fatores históricos acaba recebendo investimento do poder público.

O Setor 6 corresponde a uma área predominantemente rural, porém a partir de 2015, houve a criação de novos loteamentos e no Plano Diretor de 2016 configura-se como Zona de Expansão. Neste sentido, este é o setor que mais apresentará alterações quanto à impermeabilização do solo, devido ao processo de urbanização da área que corresponde ao alto curso da Bacia Arroio dos Pereiras, onde estão localizadas suas principais nascentes.

Após a setorização da bacia conforme a delimitação dos bairros, os parâmetros precipitação (P), infiltração da água (I), declividade (D), balanço hídrico (BH), suscetibilidade morfológica (SM) e solos (S), foram analisados para cada um dos setores da bacia Arroio dos Pereiras.

O primeiro parâmetro corresponde à Precipitação (P), sendo obtido por meio do pluviograma elaborado para a Bacia Arroio dos Pereiras no período de 1980 a 2015. No ano de 2013, recorte temporal para a aplicação do IAPIE, a precipitação na Bacia Arroio dos Pereiras correspondeu a 4,9% do total precipitado no período, ou seja, é classificada na variabilidade de precipitação considerada precipitação Normal (P₃). Neste parâmetro, devido ao tamanho da bacia e a presença da estação meteorológica próximo a mesma, foi considerada a mesma classe para todos os setores.

O segundo parâmetro é a Infiltração da água no solo (I), obtido através do

mapa de infiltração da água no ano de 2013. Este parâmetro deve ser analisado em cada um dos 6 setores da bacia, conforme apresentado na Tabela 18. No setor 1, a classe mais expressiva é a de infiltração baixa, pois trata-se de uma área com urbanização consolidada. No setor 2, cuja área corresponde ao Centro da cidade de Irati, a infiltração da água é mínima, pois a urbanização é caracterizada pela ocupação densa devido a residências, comércio e prestação de serviços.

Tabela 18 – Classes de Infiltração da água no solo por setor da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati – PR.

	Setor 1		Setor 2		Setor 3		Setor 4		Setor 5		Setor 6	
Classe de Infiltração	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Máxima (I ₁)	3,18	19,10	18,32	19,09	38,00	33,97	11,35	34,52	0,53	38,69	15,25	15,90
Alta (I ₂)	3,85	23,12	7,38	7,69	33,36	29,82	6,57	19,98	0	0,00	64,87	67,63
Média (I ₃)	1,44	8,65	1,94	2,02	11,29	10,09	5,35	16,27	0,45	32,85	14,66	15,28
Baixa (I ₄)	4,93	29,61	13,35	13,91	16,20	14,48	5,10	15,51	0	0,00	0,27	0,28
Mínima (I ₅)	3,25	19,52	54,99	57,29	13,01	11,63	4,51	13,72	0,39	28,47	0,87	0,91
Total	16,65	100	95,98	100	111,86	100	32,88	100	1,37	100	95,92	100
Classe Predominante	Baixa I ₄		Mínima I ₅		Máxima I ₁		Máxima I ₁		Máxima I ₁		Alta I ₂	

Nos setores 3, 4 e 5 há o predomínio da infiltração máxima, pois tratam-se de bairros onde a urbanização está passando pelo processo de consolidação através da criação e ocupação de novos loteamentos. Além disso, nestas áreas ocorre a presença de florestas urbanas onde a infiltração da água é facilitada pela presença do tipo de vegetação. O setor 6, apresenta alta infiltração, devido à área ser ocupada por cultivo e áreas campestres.

Na Bacia Arroio dos Pereiras há o predomínio da declividade muito baixa (Tabela 19). Encontram-se em áreas do médio e alto curso condições de declividade mais acentuada, no entanto, em menor representatividade. Neste sentido, a declividade é classificada como a mesma em todos os 6 setores.

Na tabela 20, estão expressos os valores encontrados pelas condições dos solos na bacia Arroio dos Pereiras. Os tipos de solos encontrados na bacia, Neossolo litólico, Cambissolo, Nitossolo e Gleissolo, foram enquadrados nas classes da metodologia quando à capacidade permeável dos mesmos. Nos setores 1, e 6 a permeabilidade dos solos é muito alta, pois nestes predominam os Nitossolos, cuja infiltração da água é mais eficiente que os demais tipos de solos. Nos setores 2, 3 e 5 a permeabilidade será média devido à presença de Cambissolos e Nitossolos

litólicos, enquanto que, no setor 4 ficam mais evidentes os Gleissolos, que apresentam alta concentração de água, por ocorrerem em locais mais baixos e próximos aos cursos d'água.

Tabela 19 – Classes de declividade por setor na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR

	Setor 1		Setor 2		Setor 3		Setor 4		Setor 5		Setor 6	
Classe de Declividade	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Muito Baixa (D ₁)	12,40	74,47	77,14	80,37	88,16	78,81	29,19	88,78	1,37	100,00	53,90	56,19
Baixa (D ₂)	3,23	19,40	17,52	18,25	23,39	20,91	3,69	11,22	0,00	0,00	39,62	41,31
Média (D ₃)	0,52	3,12	1,32	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,61	1,68
Alta (D ₄)	0,50	3,00	0,00	0,00	0,31	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	0,82
Muito Alta (D ₅)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	16,65	100	95,98	100	111,86	100	32,88	100	1,37	100	95,92	100
Classe Predominante	Muito Baixa D ₁		Muito Baixa D ₁		Muito Baixa D ₁		Muito Baixa D ₁		Muito Baixa D ₁		Muito Baixa D ₁	

Tabela 20 – Solos por setor na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR

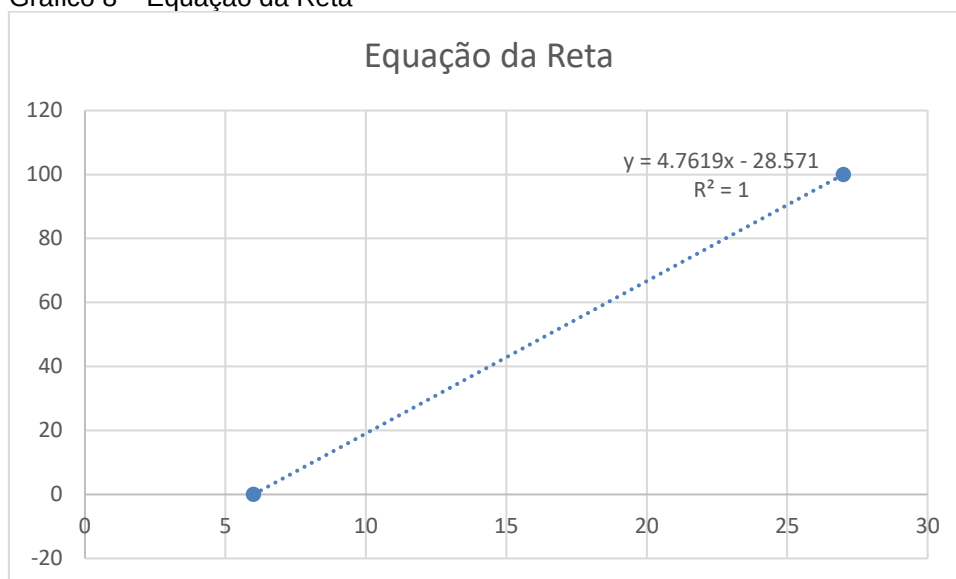
	Setor 1		Setor 2		Setor 3		Setor 4		Setor 5		Setor 6	
Capacidade de permeabilidade	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Muito Alta (S ₁)	8,80	52,85	0,00	0,00	9,66	8,64	0,00	0,00	0,00	0,00	64,63	67,38
Alta (S ₂)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Média (S ₃)	7,55	45,35	81,58	85,00	63,17	56,47	8,45	25,70	1,17	85,40	13,82	14,41
Baixa (S ₄)	0,30	1,80	14,40	15,00	39,03	34,89	24,43	74,30	0,20	14,60	17,47	18,21
Total	16,65	100	95,98	100	111,86	100	32,88	100	1,37	100	95,92	100
Classe Predominante	Muito Alta S ₁		Média S ₃		Média S ₃		Baixa S ₄		Média S ₃		Muito Alta S ₁	

Após a tabulação e análise, por setor, de todos os parâmetros foi possível elaborar a síntese dos parâmetros do IAPIE na Bacia Arroio dos Pereiras (Tabela 21). Para que se tenha precisão nos resultados, utiliza-se a equação da reta (Gráfico 8) onde o domínio da variável independente x é o intervalo entre 6 e 27 (somatórias mínima e máxima que podem ser obtidos conforme a classificação dos parâmetros).

Tabela 21 – Síntese dos parâmetros do IAPIE na Bacia Arroio dos Pereiras

Parâmetro	Setor 1	Setor 2	Setor 3	Setor 4	Setor 5	Setor 6
Precipitação	P ₃	P ₃	P ₃	P ₃	P ₃	P ₃
Infiltração da Água	I ₄	I ₅	I ₁	I ₁	I ₁	I ₂
Declividade	D ₁	D ₁	D ₁	D ₁	D ₁	D ₁
Balanço Hídrico	BH ₃	BH ₃	BH ₃	BH ₃	BH ₃	BH ₃
Suscetibilidade Morfométrica	SM ₃	SM ₃	SM ₃	SM ₃	SM ₃	SM ₃
Solos	S ₁	S ₃	S ₃	S ₄	S ₃	S ₁
Somatória	15	18	14	15	14	13

Gráfico 8 – Equação da Reta



Sendo assim, a equação da reta é:

$$y = 4,76x - 28,57$$

Setor 1	$y = 4,76 \times 15 - 28,57$	$y = 42,83$
Setor 2	$y = 4,76 \times 18 - 28,57$	$y = 57,11$
Setor 3	$y = 4,76 \times 14 - 28,57$	$y = 38,07$
Setor 4	$y = 4,76 \times 15 - 28,57$	$y = 42,83$
Setor 5	$y = 4,76 \times 14 - 28,57$	$y = 38,07$
Setor 6	$y = 4,76 \times 13 - 28,57$	$y = 33,31$

Após o cálculo da equação da reta, os valores para cada setor, indicando qual ou quais setores potencializam as inundações e enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras, podem ser observados na tabela 22 e na Figura 44. Os setores 1, 2 e 4 apresentam potencial médio quanto à influência de inundações e enxurradas. Neste sentido, deve-se dar atenção ao setor 2, cuja influência é de 57,11%, sendo o mais significativo. Nesta área estão localizados os tipos de uso que mais impermeabilizam o solo, devido às edificações usadas para residências, comércios e prestação de serviços.

Tabela 22 – Áreas Potencializadoras de Inundações e Enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras

Setores	Potencial na ocorrência de Inundações e enxurradas (0 – 100%)	Classificação
1	42,83	Potencial Médio
2	57,11	Potencial Médio
3	38,07	Potencial Baixo
4	42,83	Potencial Médio
5	38,07	Potencial Baixo
6	33,31	Potencial Baixo

Os setores 3, 5 e 6 apresentam potencial baixo na ocorrência de inundações e enxurradas, pois são áreas onde o processo de urbanização não está consolidado, devido as ocupações mais recentes das áreas por novos loteamentos e a presença de florestas urbanas. No entanto, estas áreas merecem atenção no tocante à impermeabilização do solo, pois caso sejam ocupadas intensamente por edificações e ocorra a supressão das florestas urbanas, as inundações e enxurradas podem ser intensificadas/potencializadas em áreas do baixo curso da Bacia Arroio dos Pereiras.

No ano de 2016 houve a atualização do Plano Diretor do Município de Irati e o setor 6, ocupa área destinada à Zona de Expansão. Nesta Zona não ficou determinado quais os tipos de uso podem ser autorizados, no entanto, novos loteamentos já foram construídos na área e a ocupação por edificações está sendo efetivada.

Por meio da metodologia do IAPIE pode-se verificar que o setor 6 apresenta 33,31% de contribuição nas inundações e enxurradas, ou seja, é o que menos contribui. Como a metodologia do IAPIE permite a criação de cenários futuros, é possível alterar os parâmetros, prevendo assim, quais os setores podem potencializar inundações e enxurradas em bacias hidrográficas.

Considerando alterações futuras no setor 6, hoje destinado como Zona de Expansão e onde novos loteamentos estão sendo implementados, este pode ter sua classificação no IAPIE alterada (Tabela 23). Os parâmetros que podem ser alterados, Precipitação (P), Infiltração da água em diferentes usos da terra (I) e o Balanço Hídrico (BH), são aqueles considerados mais instáveis. Os demais parâmetros que apresentam maior estabilidade em suas condições são Declividade (D), Suscetibilidade Morfométrica (SM) e Solos (S).

Figura 44 – Áreas Potencializadoras de Inundações e Enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR

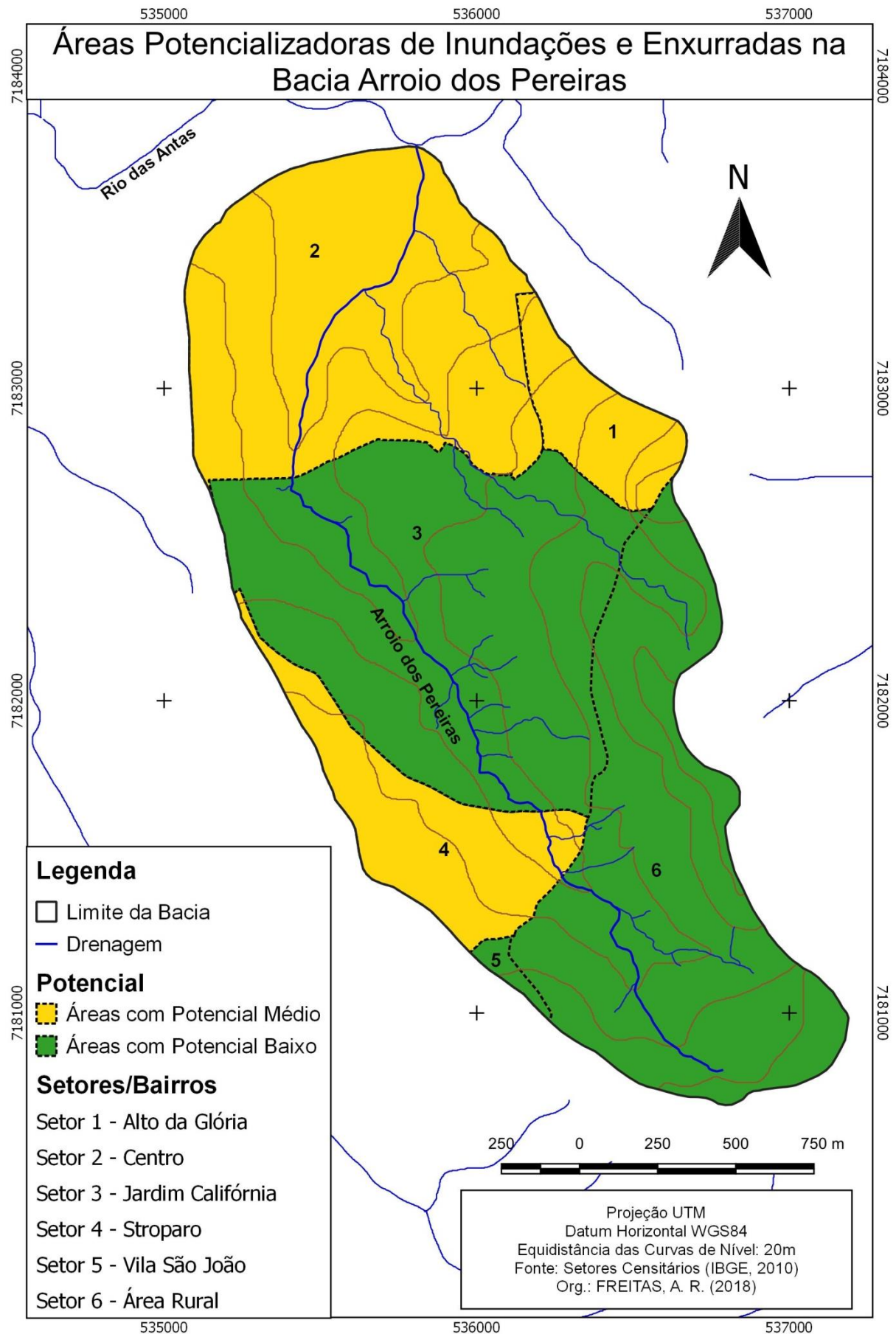


Tabela 23 – Aplicação do IAPIE em cenários futuros no Setor 6 da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR.

Parâmetro	Atual	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Precipitação	P ₃	P ₃	P ₃	P ₃
Infiltração da Água	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅
Declividade	D ₁	D ₁	D ₁	D ₁
Balanço Hídrico	BH ₃	BH ₃	BH ₃	BH ₃
Suscetibilidade Morfométrica	SM ₃	SM ₃	SM ₃	SM ₃
Solos	S ₁	S ₁	S ₁	S ₁
Somatória	13	14	15	16

Aplicando os resultados das somatórias na equação da reta, obtém-se:

Atual	$y = 4,76 \times 13 - 28,57$	$y = 33,31$
Cenário 1	$y = 4,76 \times 14 - 28,57$	$y = 38,07$
Cenário 2	$y = 4,76 \times 15 - 28,57$	$y = 42,83$
Cenário 3	$y = 4,76 \times 16 - 28,57$	$y = 47,59$

Classificando qualitativamente os valores obtidos na equação da reta, as condições futuras de uso do solo e sua interferência na infiltração da água permite verificar que as condições e a relação do setor 6 na ocorrência de inundações e enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras podem ser alteradas (Tabela 24).

Tabela 24 – Potencial futuro de inundações e enxurradas do Setor 6 da Bacia Arroio dos Pereiras, Irati-PR.

Condições	Potencial na ocorrência de Inundações e enxurradas (0 – 100%)	Classificação
Atual	33,31	Potencial Baixo
Cenário 1	38,07	Potencial Baixo
Cenário 2	42,83	Potencial Médio
Cenário 3	47,59	Potencial Médio

Havendo alterações na infiltração da água no solo, conforme o uso do solo, o setor 6 aumentará seu IAPIE na Bacia Arroio dos Pereiras. Atualmente ele apresenta potencial baixo (33,31%) e em um cenário futuro onde a infiltração da água será mínima, será caracterizado com potencial médio (47,59%).

Conforme a impermeabilização do solo ocorre e, conseqüentemente a infiltração da água associada ao uso do solo diminui, as inundações e enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras tem se intensificado. No ano de 1980, a infiltração da água

segundo o uso era mínima, e na mesma década, foram registradas pela Defesa Civil a ocorrência de cinco episódios relacionados às inundações e enxurradas.

A partir da década de 2010 houve aumento na ocorrência de inundações e enxurradas, sendo registrados dez episódios até o ano de 2015. Entre os anos de 1980 e 2013, as áreas de infiltração mínima aumentaram em 74,53%, ou seja, no período de 2010 a 2015 ocorreram mais inundações e enxurradas no Arroio dos Pereiras do que em dez anos da década de 1980, o que corrobora com a ideia central desta tese de que a impermeabilização do solo potencializa a ocorrência de inundações e enxurradas em bacias hidrográficas urbanas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos de inundações e enxurradas no espaço urbano têm se tornado preocupantes, tanto para a população afetada, quanto para administração pública. Os mapeamentos e a identificação das áreas que apresentam riscos de inundações servem de ferramenta à tomada de decisão para o controle das mesmas.

Para que o planejamento e a gestão de bacias hidrográficas possam ser exercidos de forma racional pelos órgãos públicos competentes torna-se evidente a necessidade da sistematização de informações. Esta sistematização deve acontecer do modo que informações possam ser processadas para gerar subsídios às intervenções e operações adequadas, minimizando os impactos negativos das alterações causadas pelas atividades humanas.

A área urbana do Município de Irati, mais precisamente a Bacia Arroio dos Pereiras, é afetada por inundações e enxurradas tanto no inverno quanto no verão. Por se tratar de uma bacia hidrográfica em grande parte urbana, onde a população já está ocupando o leito maior do rio, o monitoramento das condições de precipitação e vazão pode auxiliar e dar subsídios para o estabelecimento de uma rede de informações entre as pessoas que residem nas áreas que podem ser afetadas pelas inundações.

Pela análise de dados pluviométricos entre os anos de 1980 e 2015 observa-se que o regime de precipitação na área de estudos não passou por alterações, o que corrobora com a ideia de que não está chovendo mais do que o normal na região. No caso das inundações ocorridas em junho de 2014, o que intensificou a precipitação foi a presença de uma frente estacionária que atuou, não apenas no Município de Irati, mas em todo o Estado do Paraná.

Considerando que no período de análise a expansão urbana da Cidade de Irati e o processo de impermeabilização tornaram-se mais expressivos, a infiltração da água no solo acabou sendo comprometida, pois houve o aumento de 74,53% de áreas ocupadas por usos cuja infiltração da água é mínima. Dependendo da estação do ano e da cobertura do solo, a infiltração da água ocorre de forma diferenciada na bacia Arroio dos Pereiras. No verão a infiltração da água, independente do uso, é mais eficiente que no inverno. Esta condição se dá porque no inverno o solo apresenta maior concentração de água devido às quedas de temperaturas, estação na qual foram registradas maiores ocorrências de inundações e enxurradas, pela

Defesa Civil de Irati.

No período analisado a classe de infiltração que mais passou por alterações foi a Mínima, ou seja, as áreas impermeabilizadas aumentaram em torno de 74%. Em contrapartida, a classe de infiltração Máxima reduziu cerca de 13%. Estas informações confirmam que o processo crescente de urbanização sem medidas ou planejamento relacionado à impermeabilização do solo é evidente. Para que ocorra o aumento da classe de infiltração máxima devem ser preservadas áreas de jardins, calçadas gramadas e arborizadas e praças.

A classe de uso do solo que mais aumentou foram as vias pavimentadas (141%). Além das condições de impermeabilização do solo, o sistema de drenagem urbana também deve ser analisado e repensado pelo poder público. No ano de 2018 a Prefeitura Municipal de Irati tem realizado melhorias e intervenções no sistema de drenagem, conforme o previsto na atualização do Plano Diretor de 2016. Vale ressaltar que as galerias responsáveis pela drenagem da água da chuva estão obsoletas e, que conforme a expansão urbana e consequente impermeabilização do solo avançaram, estas deveriam ser modificadas.

A adoção da metodologia do IAPIE, proposta desta tese, possibilitará aos gestores de bacias hidrográficas acometidas por inundações e enxurradas a identificação de em quais setores ~~onde~~ devem ser tomadas medidas preventivas e/ou paliativas visando à solução de problemas. Além da adoção da metodologia pelos gestores de bacias hidrográficas, a mesma pode ser utilizada em estudos acadêmicos no nível da graduação e pós-graduação, estando aberta às adequações e alterações conforme a área a ser estudada.

Por meio da metodologia do IAPIE foi possível identificar quais os setores da bacia hidrográfica mais contribuem na ocorrência de inundações e enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras. Além de possibilitar a identificação da situação atual de todos os setores da bacia, a metodologia propicia a elaboração de cenários futuros de ocupação da bacia e sua relação com a impermeabilização do solo, sendo este um dos fatores primordiais em eventos extremos relacionados às inundações.

Conforme a divisão da bacia em setores, o setor 6 correspondente a Área Rural e apresenta características que podem influenciar futuramente as inundações no baixo curso da bacia. O Setor 2 é o que mais potencializa as inundações e enxurradas no Arroio dos Pereiras, mesmo com Potencial Médio.

Apresentando-se um cenário futuro, tendo como base o Plano Diretor, o alto

curso da bacia é caracterizado como Zona de Expansão, na qual não são especificados os tipos de usos e a taxa máxima de impermeabilização do solo permitidos. Caso a ocupação proporcione uma taxa máxima de impermeabilização, o setor 6 terá suas características potenciais alteradas de baixo para médio. Portanto, as condições de inundações e enxurradas podem ser potencializadas no baixo curso do Arroio dos Pereiras. Estas informações vêm ao encontro da ideia de que a implementação de loteamentos nas áreas da cabeceira da bacia tem propiciado o aumento das inundações e enxurradas.

A associação das formações geológicas, tipos de solos, declividade, mesmo a última sendo predominantemente baixa e moderada, condições de precipitação significativa e bem distribuídas ao longo do ano, ocupação das encostas e consequente comprometimento da permeabilidade do solo, possibilitam o aumento do escoamento superficial e a ocorrência de inundações e enxurradas na Bacia Arroio dos Pereiras.

Sendo assim, medidas de planejamento e incentivo à permeabilidade do solo devem ser tomados. Além dos cuidados com a impermeabilização do alto curso da Bacia Arroio dos Pereiras, outros cuidados podem ser levados em conta, como a captação da água da chuva e a utilização desta para regar jardins, limpeza das edificações e descargas sanitárias. Como a rede viária pavimentada de Irati tem aumentado é necessário que o Plano de Drenagem Urbana do município, proposto em seu Plano Diretor de 2016, seja colocado em prática. No entanto, pesquisas e estudos devem ser realizados constantemente para que se tenha conhecimento do real comportamento das bacias urbanas quanto aos processos de inundações e enxurradas.

REFERÊNCIAS

ABREU, Nair Júlia Andrade de; ZANELLA, Maria Elisa. Percepção de riscos de inundações: estudo de caso no Bairro Guabiraba, Maranguape – Ceará. **Revista Okara: Geografia em debate**. v. 9, n. 1, p. 90-107, 2015.

ALCÁNTARA-AYALA, Irasema. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. **Geomorphology**. v. 47, p. 107-124, oct. 2002.

ALMEIDA, Lutiane Queiroz. **Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras: conceitos, metodologias e aplicações**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012.

ALMEIDA, Lutiane Queiroz. Risk science, geography and climate changes: a brief theoretical contribution. In: MENDONÇA, Francisco (Org.). **Riscos Climáticos: vulnerabilidades e resiliência associados**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 11-49.

ANDRADE FILHO, Alceu Gomes de; SZÉLIGA, Marcos Rogério; ENOMOTO, Carolina Ferreira. Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas. **PUBLICATIO UEPG – Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**. v. 6, n. 1, p. 69-90, 2000.

ANDRADE SOBRINHO, Renavan; NEVES, Raimundo Freitas. Ações integradas de manejo de águas pluviais no Estado da Bahia: o estudo de caso do Município de Lauro de Freitas/BA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 3, n. 2, p. 100-108, 2015.

ANTONELI, Valdemir; DOUHI, Nelson. Técnica para estimar vazão e produção de sedimentos em cabeceira de drenagem sem dados históricos. **Revista Perspectiva Geográfica**. n. 6, p.05-23, 2010.

ANTONELI, Valdemir; THOMAZ Edivaldo Lopez. Infiltração de água no solo em período seco e úmido, mensurada em diferentes usos de terra na bacia do Arroio Boa Vista – Guamiranga-PR. **Revista Ambiência**. UNICENTRO Guarapuava- PR. v. 5, p. 1-20, 2009.

ÁVILA, Bárbara Thaís, ALMEIDA NETO, José Oliveira; FELIPPE, Miguel Fernandes. Suscetibilidade morfométrica a inundações nas bacias hidrográficas tributárias do Rio do Peixe, Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Formação**, vol. 1, n. 24, 2017, 153-181.

AYACH, Lucy Ribeiro; GUIMARÃES, Solange Therezinha de Lima; CAPPI, Nanci; AYACH, Carlos. Saúde, saneamento e percepção de riscos ambientais urbanos. **Caderno de Geografia**. v. 22, n. 37, p. 47-64, 2012.

BARBOSA, Francisco de Assis dos Reis. **Medidas de proteção e controle de**

inundações urbanas na bacia do Rio Mamanguape/PB. 2006, 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

BARGOS, Danúbia Caporusso; MATIAS, Lindon Fonseca. Áreas verdes urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. **Revista Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 3, p. 17-188, 2011.

BARROS, Mirian Vizintim Fernandes; MENDES, Crislaine; CASTRO, Paulo Henrique Marques. Vulnerabilidade socioambiental à inundação na área urbana de Londrina-PR. **Confins: Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 24, 2015.

BERTOLINO, Alessandro; GARCIAS, Carlos Mello; MOURA, Edilberto Nundes de; CASTRO, Stéphanie Louise Inácio. Medidas de baixo impacto para o controle de alagamentos e inundações aplicadas na Bacia Hidrográfica do Rio Belém em Curitiba, Paraná. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, v. 23, p. 764-779, 2016.

BEZERRA, Manuela de Luna Freire Duarte. Taxa de (Im)permeabilidade urbana intra-lote: um olhar sob a legislação. **Revista Campo do Saber**, v. 1, n. 2, p. 26-43, 2015.

BIRKMANN, Jörn; WISNER, Ben. **Measuring the Un-Measurable: The Challenge of Vulnerability.** Bonn (GER.): UNU-EHS, 2006.

BORSATO, Victor da Assunção. **A Participação dos sistemas atmosféricos atuantes na bacia do rio Paraná no período de 1980 a 2003.** Tese (parcial), (Doutorado) Nupélia, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2006.

BORSATO, Victor da Assunção; BORSATO F. H, **A dinâmica atmosférica e a influência da tropicalidade no inverno de 2007 em Maringá PR - Espacial.** In: 8º Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Evolução Tecnológica e Climatológica. Universidade Federal de Uberlândia. Agosto 2008. Eixo 5 - Técnica em Climatologia - CD-ROM.

BRASIL, Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979, 8.036 de 11 de maio de 1990, 8.666 de 21 de junho de 1993, 8.987 de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528 de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa Drenagem Urbana Sustentável.** Manual para apresentação de propostas, 2006.

BRAUN, Priscila Dionara Krambeck. **Proposta metodológica de análise para a gestão de bacias hidrográficas sujeitas a inundações.** 2013. 234f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CAMARGO FILHO, Maurício; FREITAS, Andreza Rocha.; SILVA, Sebastião Celso Ferreira; SOUZA, Edilberto Leopolski.; TRATZ, Eliza do Belém. Hidrometria aplicada: medição da vazão da seção 2 do rio Cascavel Guarapuava (PR). **Revista**

Ambiência. v. 5, n. 2, p.333-342, mai/ago 2009.

CAMPANILI, Maura; SCHAFFER, Wigold Bertoldo. **Mata Atlântica: Manual de Adequação Ambiental.** Ministério do Meio Ambiente, 2010.

CANÇADO, Vanessa Lucena. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade:** Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade. 2009. 417 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CAPRI JÚNIOR, Salvador. Identificação de riscos ambientais e proteção da água: uma aproximação necessária. In: LIMA-GUIMARÃES, Solange; CAPRI JÚNIOR, Salvador; BERRÍOS, Manuel Rolando; TAVARES, Antonio Carlos. **Gestão de áreas de riscos e desastres ambientais.** Rio Claro: IGCE/UNESP, 2012, p. 32-59.

CARNEIRO, Paulo Roberto Ferreira; CARDOSO, Adauto Lucio; ZAMPRONIO, Gustavo Bezerra; MARTINGIL, Melissa de Carvalho. A Gestão integrada de recursos hídricos e do uso do solo em bacias urbano-metropolitanas: o controle de inundações na bacia dos Rios Iguaçu/Sarapuí, na Baixada Fluminense. **Revista Ambiente & Sociedade.** v. 13, n. 1, p. 29-49, 2010.

CARVALHO, Celso Santos; MACEDO, Eduardo Soares; OGURA, Agostinho Tadashi. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios.** Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

CARVALHO, Sílvia Méri. **O Diagnóstico Físico-Conservacionista – DFC como subsídio à gestão ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Quebra-Perna, Ponta Grossa – PR.** 2004. 169f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo.

CARVALHO, Sílvia Méri; STIPP, Nilza Aparecida Freres. Contribuição ao estudo do balanço hídrico no Estado do Paraná: uma proposta de classificação qualitativa. **Revista Geografia,** Londrina, v. 13, n. 1, jan./jun., 2004.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra; CALHEIROS, Lelio Bringel; CUNHA, Maria Inêz Resende; BRINGEL, Maria Luiza Nova da Costa. **Manual de desastres:** desastres naturais, 2007.

CECH, Thomas. **Recursos hídricos:** história, desenvolvimento, política e gestão. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CEPED/UFSC. Centro Universitário de Estudos e Pesquisa sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010:** volume Brasil. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2012.

CERRI, Leandro; AMARAL, Cláudio. Riscos Geológicos. In: OLIVEIRA, Antonio

Manoel dos Santos; BRITO, Sergio Nertan. (Orgs.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998, p. 301-310.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.

COELHO, Fabio Gomes; PAGE, Raphael; HORA, Mônica Massera da. Uso de reservatórios de águas pluviais residenciais como auxílio na drenagem urbana. **Revista Hydro**, v. 21, n. 121, 2016, p. 36-37.

COELHO, Marcia Maria Lara Pinto; LIMA, José Geraldo de Araújo. Eficiência hidráulica de bocas de lobo situadas em sarjetas de greide contínuo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 2, abr/jun, 2011, p. 133-143.

COLLISCHONN, Erika. Compreendendo e avaliando a construção do risco relacionado às inundações urbanas. In: MENDONÇA, Francisco. **Riscos climáticos: vulnerabilidades e resiliência associados**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014, p. 51-74.

COOPER, Miguel; VIDAL-TORRADO, Pablo. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, p. 581-595, 2005.

COMFORT, Louise. Fragility in disaster response: Hurricane Katrina. **The Forum**, v. 3, n. 3, p. 1-8, 2005.

COSTA, Franklin Roberto; LIMA, Raquel Franco de Souza. O rio Apodi e a inundação de 2004 na área central da cidade de Pau dos Ferros – RN. In: SILVA, Juliana Maria Oliveira; SILVA, Edson Vicente; SEABRA, Giovanni; RODRIGUEZ, José Manuel Mateo. **Gestão dos recursos hídricos e planejamento ambiental**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2010, p. 140-147.

DE BIASI, Mário. **A carta clinográfica: os métodos de representa o e sua confec o**, 1996.

DIAS, Maria Assun o Faus da Silva. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, n. 103, p. 33-40, 2014.

EISER, J. Richard; BOSTROM, Ann; BURTON, Ian; JOHNSTON, David M.; MCCLURE, John; PATON, Douglas; VAN DER PLIGT, Joop; WHITE, Mathew P. Risk interpretation and action: A conceptual framework for responses to natural hazards. **International Journal of Disaster Risk Reduction**. v. 1, p. 5-16, oct. 2012.

FERRAZ, Priscilla; BARROS, Omar Neto Fernandes.; BARROS. Miriam Vizintim.; STIPP, Nilza Aparecida Freres.; FARIA, G. G. Uso do solo e perda de área de infiltra o na bacia do Ribeirão Cambé: Londrina – Paraná. In: STIPP, Nilza Aparecida Freres. (Org.) **Análise ambiental em ciências da terra: recursos hídricos**. Londrina: Humanidades, 2007, p. 115-130.

FETTER, Charles Willard. **Applied Hydrogeology**. Merril Publishing Company, 1994.

FRANCO, Ana Carolina Vicenzi; DAL SANTO, Mariane Alves. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do Rio Luís Alves/SC. **Mercator**, v. 14, n. 3, p. 151-167, 2015.

FREITAS, Andreza Rocha de; SANTOS, Marilaine Alves dos; CARVALHO, Silvia Méri. Análise Morfométrica de bacias hidrográficas urbanas: procedimento metodológico aplicado aos estudos de desastres naturais. In: CHIMIN JUNIOR, Alides Baptista; FREITAS, Andreza Rocha de. (Orgs.). **Tecnologias Geográficas: O uso de diferentes metodologias na produção do conhecimento geográfico**. Curitiba: CRV, 2016, p. 65-88.

FREITAS, Carlos Machado de; CARVALHO, Mauren Lopes de; XIMENES, Elisa Francioli; ARRAES, Eduardo Fonseca; GOMES, José Orlando. Vulnerabilidade socioambiental, redução de riscos de desastres e construção da resiliência – lições do terremoto no Haiti e das chuvas fortes na Região Serrana, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1577-1586, 2012.

FURTINI, Marcelo Barbosa; FERREIRA, Elizabeth; SAMPAIO, Fabrício de Menezes Telo. Análise temporal da permeabilidade da superfície urbana da sub-bacia do Córrego Centenário em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1145-1154, 2007.

GANEM, Roseli Senna. Áreas verdes e sustentabilidade urbana. In: SOBREIRA, Fabiano José Arcádio, GANEM, Roseli Senna, ARAÚJO, Suely Mara Vaz Guimarães. **Qualidade e sustentabilidade do ambiente construído**. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2014, p. 19-42.

GARCIAS, Carlos Mello; PINHEIRO, Eduardo Gomes. A proteção civil e as mudanças climáticas: a necessidade da incorporação do risco de desastres ao planejamento das cidades. In: OJIMA, Ricardo; MANDAROLA JÚNIOR, Eduardo (Orgs.). **Mudanças climáticas e as cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana e social**. São Paulo: Blucher, 2013. p. 215-252.

GOERL, Roberto Fabris; KOBAYAMA, Masato; PELLERIN, Joel Robert Georges Marcel. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do Município Rio Negrinho – SC. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.

GONÇALVES, Marcelo; BARROS, Mirian Vizintim Fernandes. Risco de alagamentos no Estado do Paraná: análise da periculosidade e da vulnerabilidade. **Cofins: Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 27, 2016.

GUHA-SAPIR, Debarati; BELOW, Regina; HOYOIS, Philippe. **EM-DAT: The CRED/OFDA International Disaster Database**. Brussels: Université Catholique de Louvain, [s.d.]. Disponível em: <<http://www.emdat.be>>. Acesso em: set. 2016.

HOFFMANN, Tereza Cristina Polato; MENDONÇA, Francisco; GOUDARD, Gabriela. Eventos climáticos extremos: inundação e gestão de riscos no Paraná. In: MENDONÇA, Francisco (Org.). **Riscos Climáticos: vulnerabilidade e resiliência associados**. Judiaí: Paco Editorial, 2014. p. 223-260.

HORA, Silmara Borges; GOMES, Ronaldo Lima. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 2, p. 57-75, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Perfil dos municípios brasileiros: Meio Ambiente**, 2002. Rio de Janeiro: IBGE, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INPE-DPI. SPRING, Manual do usuário, São José dos Campos, 1999. (<http://www.inpe.br/spring>).

IRATI. **Plano Diretor Municipal de Irati**. Irati, 2010.

JACOBI, Pedro. Impactos socioambientais urbanos – do risco à busca de sustentabilidade. In: MENDONÇA, Francisco (Org.). **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba: UFPR, 2004.

JACOBI, Pedro, MOMM-SCHULT, Sandra; BOBN, Noemia. Ação e reação. Intervenções urbanas e a atuação das instituições no pós-desastre em Blumenau (Brasil). **EURE (Santiago)**. v. 36, n. 116, p. 243-261, ene. 2013.

KAUFFMANN, Marcia; SILVA, Luciene Pimentel. Taxa de impermeabilização do solo: um recurso para a implementação da bacia hidrográfica como unidade de planejamento urbano integrado à gestão dos recursos hídricos. In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 11, 2005, Salvador, **Anais...** Salvador: ANPUR, 2005, p. 5-40.

KELLER, Sina; ATZL, Andreas. Mapping Natural Hazard Impacts on Road Infrastructure – The Extreme Precipitation in Baden-Württemberg, Germany, June 2013. **International Journal of Disaster Risk Science**. v. 5, p. 227-241, 2014.

KOBIYAMA, Masato; MENDONÇA, Magaly; MORENO, Davis Anderson; MARCELINO, Isabela Pena Viana de Oliveira; MARCELINO, Emerson Vieira; GONÇALVES, Edson Fossatti; BRAZETTI, Letícia Luiza Penteadó; GOERL, Roberto Fabris; MOLLER, Gustavo Souto Fontes; RUDORFF, Frederico de Moraes. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Editora Organic Trading, 2006.

KUHNEN, Arianne. Meio ambiente e vulnerabilidade: a percepção ambiental de risco e o comportamento humano. **Geografia (Londrina)**, v. 18, n. 02, p. 37-52, 2009.

LICCO, Eduardo Antonio; MACDOWELL, Silvia Ferreira. Alagamentos, enchentes, enxurradas e inundações: digressões sobre seus impactos socioeconômicos e governança. **Revista de Iniciação Científica, tecnológica e artística**. v. 5, n. 3, p. 159-174, 2015.

MACHADO, Pedro José de Oliveira; TORRES, Filipe Tamiozzo Pereira. **Introdução à Hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MARCELINO, Emerson Vieira. **Desastres Naturais e Geotecnologias: conceitos básicos**. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais: Santa Maria, 2007.

MARCELINO, Emerson Vieira; NUNES, Lucí Hidalgo; KOBIYAMA, Masato. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. **Caminhos da Geografia**, v. 6, n. 19, p. 130-149, 2006.

MARENGO, José. Impactos extremos relacionados com o tempo e o clima – Impactos sociais e econômicos. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas**, n. 8, p. 1-5, 2009.

MARENGO, José. Como as pesquisas das universidades podem ajudar na prevenção de desastres naturais? **Cadernos Adenauer**, v. 16, n. 2, p. 39-56, 2015.

MARQUES, Flávio Adriano; RIBEIRO, Mateus Rosas; BITTAR, Sheila Maria Bretas; TAVARES FILHO, Antônio Novais; LIMA, José Fernando Wanderley Fernandes. Caracterização e classificação de neossolos da Ilha de Fernando de Noronha (PE). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 1553-1562, 2007.

MARTINS, José Rodolfo Scarati Martins. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente? **Artigo Científico**, 2012, p. 1-11.

MASCARÓ, Juan Luis; YOSHINAGA, Mário. **Infraestrutura urbana**. Porto Alegre: Masquatro Editora Ltda., 2013.

MASKERY, Andrew. Introducción. In: MEDINA, Juvenal; ROMERO, Rocio (Eds.). **Los desastres si avisan: estudios de vulnerabilidad y migración**. Lima: ITDG, 1992, p. 13-25.

MATTEDI, Marcos Antônio; BUTZKE, Ivani Cristina. A relação entre o social e o natural nas abordagens de hazards e de desastres. **Revista Ambiente & Sociedade**, v. 04, n. 09, p. 1-23, 2001.

MCBEAN, Gordon. Climate change and extreme weather: a basis for action. **Natural Hazards**, 31, 177–190, 2004.

MENDONÇA, Francisco. Riscos, Vulnerabilidades e Resiliência Socioambientais Urbanas: Inovações na Análise Geográfica. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 1, número especial, p. 111-118, out. 2011.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo. Análise Rítmica em Climatologia: São Paulo e chegas para um programa de Trabalho. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1971.

MONTEIRO, Carlos Augusto Figueiredo. **Clima e excepcionalismo: conjecturas sobre o desempenho da atmosfera como fenômeno geográfico**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1991.

MORAES, Isabel Cristina; CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazini; CUNHA, Cenira Maria Lupinacci; MORUZZI, Rodrigo Braga. Interferência do uso do solo nas inundações da área urbana do córrego da servidão, Rio Claro (SP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 187-200, 2012.

MORUZZI, Rodrigo Braga; CUNHA, Cenira Maria Pupinacci; CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazini. Princípios básicos para a modelagem de cheias em bacias hidrográficas urbanizadas. In: LIMA-GUIMARÃES, Solange; CAPRI JÚNIOR, Salvador; BERRÍOS, Manuel Rolando; TAVARES, Antonio Carlos. **Gestão de áreas de riscos e desastres ambientais**. Rio Claro: IGCE/UNESP, 2012, p. 305-327.

NASCIMENTO, Elson Antonio do; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves; FONSECA, Paulo Luiz. Qualidade do meio ambiente urbano: medidas para o controle do escoamento superficial na cidade do Rio de Janeiro, Brasil. **Ciência & Engenharia**, v. 16, n. 1/2, p. 81-87, 2007.

NASCIMENTO, José Antonio Sena do. Manejo de águas pluviais. In: IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas de saneamento**: 2011. Rio de Janeiro: IBGE, 2011, p. 1-32.

NUNES, Fabrizia Gioppo; FIORI, Alberto Pio; FIRPO, Giacomo. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba e região metropolitana – Paraná/Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 64-65, p. 27-39, 2011.

NUNES, Lucí Hidalgo. **Urbanização e desastres naturais**: abrangência América do Sul. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

OLIVEIRA, Daysy Lira; SOUZA, Vladimir Caramori Borges, FRAGOSO JÚNIOR, Carlos Ruberto. Análise Hidrológica da Cheia Excepcional ocorrida em junho de 2010 nas bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 3, p. 279-293, 2014.

OLIVEIRA, Guilherme Garcia; GUASSELLI, Laurindo Antonio; SALDANHA, Dejanira Luderitz. Modelos de previsão e espacialização das áreas inundáveis em Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 4, p. 355-378, 2012.

ORREDA, José Maria. **História de Irati**. EDIPAR, I Volume, 1972.

ORREDA, José Maria. **História de Irati**. EDIPAR, II Volume, 1974.

PARIZZI, Maria Giovana. Desastres naturais e induzidos e o risco urbano. **Geonomos**, v. 22, n. 1, p. 1-9, 2014.

PARKINSON, Jonathan *et al.* Drenagem urbana sustentável no Brasil. **Relatório do Workshop em Goiânia – GO**. 7 de maio de 2003. Goiânia: CREEA, 2003.

PEDROSA, António de Sousa. O geógrafo como técnico fundamental no processo de gestão dos riscos naturais. **Boletim Goiano de Geografia**. v. 32, n. 1, jan./jun.

2012, p. 11-30.

PEREZ FILHO, Arquimedes; MATTOS, Sérgio Henrique Vannucchi Leme; ORSI, Letícia; VICENTE, Andréa Koga; VICENTE, Luiz Eduardo. Monitoramento e gerenciamento de bacias urbanas associadas a inundação: diagnose da bacia Ribeirão Quilombo na Região Metropolitana de Campinas utilizando geotecnologias. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 19, p. 44-54, 2006.

POLETO, Cristiano. Bacias hidrográficas urbanas. In: POLETO, Cristiano. **Bacias hidrográficas e recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. p. 29-47.

RAHMAN, Atta-ur; SHAW, Rajib; SURJAN, Akhilseh; PARVIN, Gulsan Ara. Urban disasters and approaches to resilience. **Urban disasters and resilience in Asia**. Elsevier, 2016, p. 1-19.

REBOITA, Michelle Simões; MARIETTO, Diogo Malagutti Gonçalves; SOUZA, Amanda; BARBOSA, Marina. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de chuva na região sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 13, v. 21, 2017.

ROBAINA, Luís Eduardo de Souza. Espaço urbano: relação com os acidentes e desastres naturais no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 30, n. 2, p. 93-105, 2008.

ROLIM, Glauco de Souza; SENTELHAS, Paulo Cesar; BARBIERI, Valter. Planilhas no ambiente Excel™ para cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SAITO, Silvia Midori; SORIANO, Érico; LONDE, Luciana de Resende. Desastres Naturais. In: SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi (Orgs.). **Sensoriamento Remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p.23-42.

SANTOS, Gabriel da Paz. Drenagem urbana da cidade de Posto da Mata. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 13, n. 2, p. 181-200, 2017.

SANTOS, Jader de Oliveira. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na suscetibilidade aos riscos. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 75-90, 2015.

SANTOS, Jader de Oliveira; SOUZA, Marcos José Nogueira de. Abordagem geoambiental aplicada à análise da vulnerabilidade e dos riscos ambientais em ambientes urbanos. **Boletim Goiano de Geografia**. v. 34, n. 2, mai/ago 2014, p. 215-232.

SANTOS, Lydyanne Barbosa dos; MAMEDE, Bruno Borges. Automação em drenagem pluvial e controle de enchentes: aproveitamento das águas nos grandes centros urbanos. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**. v. 9, n. 2, 2013, p. 457-475.

SANTOS, Rozely Ferreira. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007.

SAUSEN, Tania Maria; NARVAES, Igor da Silva. Sensoriamento remoto para inundação e enxurrada. In: SAUSEN, Tania Maria; LACRUZ, María Silvia Pardi (Orgs.). **Sensoriamento Remoto para desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. p. 119-147.

SCHERER, Rosângela Bianca; SANTOS, Rosele Clairete. Inundações em centros urbanos: impactos ambientais gerados pelo crescimento populacional. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 42-45, 2012.

SERAFIM, Milson Evaldo; OLIVEIRA, Geraldo César de; CURI, Nilton; LIMA, José Maria; GUIMARÃES, Paulo Tácito Gontijo; LIMA, Vico Mendes Pereira. Potencialidades e limitações de uso de latossolos e cambissolos, sob sistema conservacionista em lavouras cafeeiras. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, p. 1640-1652, 2013.

SILVA, Cláudio Santos; SANTIAGO, Alina. Urbanização e inundação: conflitos e possibilidades. **Paisagem Ambiente: ensaios**, n. 24, p. 327-334, 2007.

SILVEIRA, Cassiane Aparecida; DIAS, Patrícia; SCHUCH, Fernanda Simoni. A problemática das inundações em áreas urbanas sob a ótica da permeabilidade do solo. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2014, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2014, p. 1-11.

SOBRAL, André; FREITAS, Carlos Machado; ANDRADE, Elaine Vasconcelos; LYRA, Gabriela Franco; MASCARENHAS, Mônica dos Santos; ALENCAR, Mônica Regina Filippo; CASTRO, Rodolfo de Almeida Lima; FRANÇA, Rosana de Figueiredo. Desastres naturais – sistemas de informação e vigilância: uma revisão da literatura. **Epidemiol.Serv.Saúde**, v. 19, n. 4, p. 389-402, 2010.

SOUSA, Romário Rosa.; ROSA, Deocleciano Bittencourt; NASCIMENTO, Lucelma Aparecida.; LIMA, Paulo Roberto Menezes. Estudo da variabilidade pluviométrica no extremo norte do Estado de Mato Grosso entre os anos de 1990 a 1996. **Revista Geoambiente On-Line**, Jataí, v.1, n.7, p.89-107, 2006.

SOUZA, Celia Regina de Gouveia. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações sem áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, p. 45-61, 2005.

SOUZA, Christopher Freire; CRUZ, Marcus Aurélio Soares; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Desenvolvimento urbano de baixo impacto: planejamento e tecnologias verdes para a sustentabilidade das águas urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 17, n. 12. Abr./Jun. 2012, p. 9-18.

SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Programa de saneamento ambiental da região Metropolitana de Curitiba**: Plano diretor de drenagem urbana para a bacia do Rio Iguaçu na região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, 2002.

THORNTHWAITE, Charles Warren., MATHER, John Russ. The water Balance. New Jersey: Laboratory of Climatology, v. 8, 1955, 104 p. (Publication in Climatology).

TOMÁS, Denis Dorighello; SANCHES, Djalma Luiz. Áreas de risco: planejamento como prevenção. In: LOMBARDO, Magda Adelaide; FREITAS, Maria Isabel Castreghini (Orgs.). **Riscos e vulnerabilidades: teoria e prática no contexto luso-brasileiro**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013, p. 207-228.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Regionalização de Vazões**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Inundações e drenagem urbana. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; BERTONI, Juan Carlos (Orgs.). **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003, p. 45-150.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades – Global Water Partnership – World Bank – Unesco, 2005.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2013.

VALLE, Roseli Aparecida; POMPEU, Cássia Rocha; RICCIARDI, Raquel Latini Gavassi Fernandes; OKAWA, Cristhiane Michiko Passos; MARTINS, Daniel das Neves; PAREDES, Evaristo Atencio. Uso e ocupação do solo na microbacia do Ribeirão Maringá – Maringá/PR: análise da expansão urbana por meio do SIG. **Maringá**, v. 25, n. 1, p. 47-56, 2016.

VESTENA, Leandro; GEFFER, Edivaldo; ALMEIDA, Deivana Eloisa Ferreira de; VESTENA, Carla Luciane Blum. Percepção ambiental sobre as causas das inundações, Guarapuava/PR: em busca da cidade resiliente. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 28, p. 280-294, 2014.

VIEIRA, Marcela do Carmo; HONDA, Sibila Corral de Arêa Leão. Degradação Ambiental e sua relação com a drenagem urbana – Estudo de caso em Dracena-SP. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 1, n. 1, p. 1-11, 2013.

WOLLMANN, Cássio Arthur. Enchentes no Rio Grande do Sul do século XXI. **Mercator**, v. 13, n. 1, p. 79-91, 2014.

XAVIER, Diego Ricardo; BARCELLOS, Christovam; FREITAS, Carlos Machado. Eventos climáticos extremos e consequências sobre a saúde: o desastre de 2008 em Santa Catarina segundo diferentes fontes de informação. **Revista Ambiente & Sociedade**. v. 17, n. 4, p. 273-294, 2014.

ZANELLA, Maria Elisa; SALES, Marta Celina Linhares; ABREU, Nair Julia Andrade. Análise das precipitações diárias intensas e impactos gerados em Fortaleza, CE. **GEOUSP – Espaço e tempo**, n. 25, p. 53-68, 2009.

ZAVATTINI, João Afonso; BOIN, Marcos Noberto. **Climatologia Geográfica: teoria**

e prática de pesquisa. Campinas: Alínea, 2013.